



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

## **TRABAJO FIN DE GRADO**

**Título:** Diseño de una acometida de energía eléctrica desde una Subestación de Tracción a una Base de Mantenimiento

**Autor:** Pablo Urdiales Hurtado

**Titulación:** Grado de Ingeniería Eléctrica

**Profesor:** Lorenzo Muñoz Pascual

**Fecha:** 9 de octubre de 2015



Universidad  
Carlos III de Madrid  
[www.uc3m.es](http://www.uc3m.es)

## AGRADECIMIENTOS

Durante el transcurso del grado, se conoce y trata con mucha gente. Se pasan momentos buenos, malos, agradables, desagradables y distintas situaciones difíciles que todo estudiante de ingeniería sabrá.

En primer lugar, el logro de superar esta ingeniería va para mis padres, esas personas que más han sufrido mis malos momentos y que han hecho el esfuerzo económico que desgraciadamente requiere actualmente el ser estudiante universitario. Ellos me han apoyado y dado fuerzas durante los cinco años que he invertido. Para ellos dos va mi logro.

Tampoco hubiese sido posible sin todos los momentos y esfuerzos que ha hecho por mí, una chica muy especial, Natalia. Además Guille y Revi han hecho todo mucho más amena esta aventura. Gracias a esas personas que empezaron como compañeros, pero les tendré para toda la vida. Ellos tres me han sacado de los momentos más difíciles, mis tres mosqueteros Natalia, Guille y Revi.

Gracias al resto de mi familia, en especial a mi abuelo, que ha conseguido verme acabar esto y mi hermano.

Y por último, dar las gracias por apostar por mí y su dedicación a mi tutor Lorenzo Muñoz.

## RESUMEN

En el presente Trabajo Fin de Grado (TFG) se pretende el diseño de una línea eléctrica subterránea desde una Subestación de Tracción eléctrica con sistema de electrificación 2x25 kV, hasta una Base de Mantenimiento que por su ubicación, no dispone de líneas eléctricas de media tensión próxima que permitan un suministro eléctrico.

El objetivo de este TFG es alimentar la Base de Mantenimiento desde la Subestación eléctrica de Tracción y utilizar el grupo electrógeno existente como respaldo, consiguiendo un suministro eléctrico más fiable, limpio, continuo y económico.

La inclusión de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) es un elemento clave en el diseño para garantizar el suministro en caso de fallo en el suministro desde la Subestación de Tracción y la conmutación con el grupo electrógeno.

El diseño de la instalación estará basado en la seguridad de las personas frente a riesgos eléctricos y continuidad y fiabilidad del suministro cumpliendo con los distintos reglamentos que engloban estas instalaciones.

## ABSTRACT

The present end-of Degree assignment covers the design of an underground electrical line from an electrical railway traction with a 2x25 kV electrification system to a maintenance base. Due to the base location, there is not any medium voltage electrical line to allow power supply.

The main goal of this project is to feed the maintenance base from the electric traction substation and to use the existing electrical power generator as a backup system to allow for a reliable, clean, continuous and economic power.

The inclusion of an Uninterruptible Power Supply (UPS) is a key element in the design of the system to ensure supply in case of power failure from the traction substation as well as a switching possibility to the generator.

The design of the facility will ensure people safety against electrical risks as well as the continuity and reliability of supply to ensure compliance with the various regulations that apply to these facilities supply.

# ÍNDICE

1.	Introducción y objetivos.....	14
1.1.	Introducción .....	14
1.2.	Motivación.....	14
1.3.	Objetivos del Trabajo de Fin de Grado .....	15
1.4.	Estructura del Trabajo de Fin de Grado.....	16
2.	Tracción eléctrica.....	18
2.1.	Electrificación bifásica .....	18
2.1.1.	Sistema de alimentación 2x25 KV .....	19
2.2.	Subestaciones de Tracción .....	21
2.2.1.	Tipos de Subestaciones de Tracción.....	22
2.2.1.1.	Subestaciones de Tracción en corriente continua .....	22
2.2.1.2.	Subestaciones de Tracción en corriente alterna .....	22
2.3.	Captación de corriente .....	23
2.4.	Subestación de tracción 2x25 kV.....	25
2.4.1.	Modo de funcionamiento normal .....	25
2.4.2.	Fallo en un transformador de tracción.....	25
2.4.3.	Fallo en subestación de tracción .....	26
2.4.4.	Fallo en catenaria .....	26
2.4.5.	Fallos en 25 kV que afectan a la alimentación de la Subestación .....	26
3.	Sistema de Alimentación Ininterrumpida.....	28
3.1.	Introducción .....	28
3.2.	Clasificación de SAI's .....	28
3.3.	Componentes de un SAI .....	32
3.4.	Elección de un SAI.....	33
3.4.1.	Potencia del SAI .....	33

3.4.2.	Factor de potencia y THD .....	33
3.4.3.	Configuración del SAI.....	35
3.4.3.1.	Configuración de módulo único .....	35
3.4.3.2.	Configuración en paralelo distribuido .....	36
3.4.3.3.	Configuración en paralelo centralizado.....	36
3.5.	Protección de personas en sistemas de alimentación con fuentes ininterrumpidas de energía eléctrica 37	
3.5.1.	Protección contra los contactos directos .....	37
3.5.2.	Protección contra los contactos indirectos .....	38
3.5.3.	Esquemas de conexión de neutro a tierra.....	38
3.5.3.1.	Régimen TT/TT.....	39
3.5.3.2.	Régimen TN-C/TN-S.....	40
3.5.3.3.	Régimen IT/IT.....	40
3.5.4.	Separación galvánica de las líneas aguas arriba y abajo del SAI .....	41
3.6.	Baterías.....	41
4.	Descripción de las Instalaciones.....	45
4.1.	Arquetas de registro .....	49
4.2.	Celdas de maniobra y protección .....	49
4.2.1.	Subestación de Tracción.....	49
4.3.	Sistema de control de Subestaciones.....	52
4.4.	Líneas eléctricas.....	54
4.4.1.	Línea eléctrica de Alta Tensión .....	55
4.4.2.	Línea eléctrica 230 V.....	55
4.4.3.	Línea eléctrica de 400 V.....	55
4.5.	Casetas prefabricadas.....	56
4.5.1.	Transformador 25kV/230 V .....	56
4.5.2.	Sistema de alimentación ininterrumpido (SAI) .....	57

4.5.2.1.	Grupo electrógeno .....	57
4.5.2.2.	Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) .....	58
4.5.2.2.1.	Baterías .....	64
4.5.3.	Cuadro BT y protecciones.....	64
5.	Cálculos eléctricos .....	68
5.1.	Línea eléctrica subterránea de 25 kV .....	68
5.1.1.	Diseño por cortocircuito .....	68
5.1.2.	Intensidad admisible .....	71
5.1.3.	Diseño por caída de tensión .....	75
5.2.	Cable aislado de 230V .....	75
5.3.	Línea de 400 V .....	76
5.4.	Cuadro de Baja tensión .....	77
5.4.1.	Comprobación de Sección instalada.....	77
5.4.1.1.	Datos de partida .....	77
5.4.1.2.	Comprobación por caída de tensión .....	78
5.4.1.3.	Análisis de los resultados y modificaciones propuestas.....	80
5.4.2.	Comprobación de Interruptores automáticos.....	82
5.4.2.1.	Datos de partida .....	82
5.4.2.2.	Comprobación .....	83
5.4.2.3.	Análisis de resultados y modificaciones propuestas. ....	88
5.5.	Puesta a tierra centro de transformación .....	88
5.5.1.	Cálculo de la intensidad de defecto a tierra .....	88
5.5.2.	Comprobación tensiones de paso y contacto .....	91
5.5.2.1.	Tensiones de paso .....	91
5.5.2.2.	Tensiones de contacto.....	92
5.5.2.3.	Tensión de acceso a CT .....	94
5.5.2.4.	Tensión de defecto .....	95



6.	Planos .....	97
7.	Plan de trabajo .....	108
8.	Presupuesto.....	110
8.1.	Capítulo 1: Caseta.....	110
8.2.	Capítulo 2: Arquetas registro y canalizaciones.....	111
8.3.	Capítulo 3: Equipamiento alta tensión .....	114
8.4.	Capítulo 4: Equipamiento subestación.....	115
8.5.	Capítulo 5: Equipamiento caseta.....	116
8.6.	Capítulo 6: Equipamiento baja tensión en caseta .....	118
8.7.	Capítulo 7: Telemando .....	120
8.8.	Capítulo 8: Modificaciones cuadro general Baja Tensión .....	122
8.9.	Capítulo 9: Ingeniería .....	125
8.10.	Resumen.....	126
9.	Conclusiones y trabajos futuros .....	127
10.	Bibliografía.....	129

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura.2.1: Esquema de electrificación 2x25 kV .....	19
Figura 2.2: Conexión de autotransformador a catenaria.....	20
Figura 2.3: Configuración del sistema de tracción .....	23
Figura 2.4: Elementos de línea de contacto.....	24
Figura 2.5: Sistemas de alimentación 2x25 kV con autotransformadores.....	24
Figura 2.6: Posibles fallos en una Subestación de Tracción.....	26
Figura 3.1: SAI stand-by pasivo “off-line” .....	29
Figura 3.2: SAI stand-by activo.....	29
Figura 3.3: SAI on-line.....	29
Figura 3.4: Diagramas de bloque SAI .....	32
Figura 3.5: Configuración de módulo único.....	35
Figura 3.6: Configuración en paralelo distribuido.....	36
Figura 3.7: Configuración en paralelo centralizado .....	36
Figura 3.8: Esquema régimen TT/TT .....	39
Figura 3.9: Régimen TN-C/TN-S.....	40
Figura 3.10 Régimen IT .....	41
Figura 3.11: Componentes de una batería de Plomo ácido .....	42
Figura 3.12: Batería de plomo cargada y descargada.....	43
Figura 3.13: Ejemplo batería Ni-Cd .....	44
Figura 4.1: Diagrama de bloques fundamental del sistema .....	45
Figura 4.2: Proceso de generación de tensión trifásica.....	46
Figura 4.3: Diagrama de bloques del sistema.....	47
Figura 4.4: Módulos de funcionamiento del SAI .....	48
Figura 4.5: Esquema sinóptico de las celdas de 36 kV de la Subestación de Tracción.....	50
Figura 4.6: Ampliación de celdas de protección .....	50
Figura 4.7: Esquema sinóptico de nueva celda de protección ubicada en Subestaciones de Tracción .....	51

Figura 4.8: Esquema sinóptico de nueva celda de protección ubicada en Base de Mantenimiento .....	51
Figura 4.9: Esquema unifilar de una subestación para su telemando .....	53
Figura 4.10: Diseño de sistema de protección y control.....	54
Figura 4.11: Ejemplo de respuesta de filtro ante gran contenido armónico .....	62
Figura 4.12: Sistema de Eliminación de Perturbaciones Eléctricas 400 kVA.....	63
Figura 5.1: Representación de intensidad de cortocircuito frente a tiempo de cortocircuito .....	71
Figura 5.2: Dimensiones cable de aluminio con aislante de XLPE.....	72
Figura 5.3: Circuito equivalente .....	75
Figura 5.4: Diagrama de fasores.....	76
Figura 5.5: Tabla Unesa escogida.....	90
Figura 5.6: Configuración de malla de puesta a tierra de CT .....	97

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2.1: Tipos de tensión en ferrocarriles europeos según EN 50163 .....	18
Tabla 2.2: Comparación entre 1x25 kV y 2x25 kV .....	21
Tabla 3.1: Eventos que amenazan a los aparatos electrónicos .....	30
Tabla 3.2: Posibilidades y aplicaciones de los distintos SAI.....	31
Tabla 3.3: Rangos típicos de calidad de servicios .....	34
Tabla 3.4: Ventajas e inconvenientes de baterías de plomo .....	42
Tabla 4.1: Características principales del transformador .....	57
Tabla 4.2: Características principales de grupo electrógeno .....	58
Tabla 4.3: Características principales del SAI.....	59
Tabla 4.4: Situación actual de cuadro de baja tensión.....	65
Tabla 4.5: Situación actual de cuadro de baja tensión.....	67
Tabla 5.1: Condiciones de cálculo de ecuación 2.....	70
Tabla 5.2: Características cable 150 mm <sup>2</sup> .....	72
Tabla 5.3: Resultado de ecuaciones 4 a 10.....	74
Tabla 5.4: Condiciones cálculo de intensidad nominal .....	75
Tabla 5.5: Condiciones de cálculo ecuación 16 .....	77
Tabla 5.6: Datos de partida de Cuadro de Baja Tensión .....	78
Tabla 5.7: Comprobación caídas de tensión en Cuadro de Baja Tensión .....	80
Tabla 5.8: Cuadro de Baja Tensión con modificaciones .....	82
Tabla 5.9: Datos de partida de interruptores automáticos .....	83
Tabla 5.10: Cálculo de máxima intensidad admisible .....	85
Tabla 5.11: Comprobación $I_b < I_n < I_z$ .....	86
Tabla 5.12: Comprobación $I_2 < 1,45 \cdot I_z$ .....	87
Tabla 5.13: Condiciones cálculo de intensidad de defecto a tierra.....	91
Tabla 5.14: Condiciones de cálculo de tensión de paso admisible.....	92
Tabla 5.15: Condiciones de cálculo de tensión de paso máxima .....	93

Tabla 5.16: Condiciones de cálculo de tensión de contacto admisible.....93

Tabla 5.17: Condiciones de tensión de contacto máxima.....94

Tabla 5.18: Condiciones de cálculo de tensión de paso admisible a CT .....96

Tabla 5.19: Condiciones de cálculo de tensión de defecto.....96

# 1. Introducción y objetivos

## 1.1. Introducción

El proyecto se basa en el diseño de una línea subterránea que conecta una Subestación de Tracción ferroviaria con sistema de electrificación 2x25 kV a una Base de Mantenimiento, que por su ubicación, no existen líneas eléctricas de media tensión próximas que permita un suministro eléctrico.

En la actualidad, la Base de Mantenimiento posee un cuadro eléctrico de distribución que es alimentado, de forma permanente, por un grupo electrógeno de 400 kVA.

El objetivo de este Trabajo Fin de Grado (TFG) es alimentar la Base de Mantenimiento desde la Subestación eléctrica de Tracción y utilizar el grupo electrógeno existente como respaldo, consiguiendo un suministro eléctrico más fiable, limpio, continuo y económico.

La inclusión de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI) es un elemento clave en el diseño para garantizar el suministro en caso de fallo en el suministro desde la Subestación de Tracción y la conmutación con el grupo electrógeno.

El diseño de la instalación estará basado en la seguridad de las personas frente a riesgos eléctricos y continuidad y fiabilidad del suministro cumpliendo con los distintos reglamentos que engloban estas instalaciones.

## 1.2. Motivación

Personalmente, la elección de un Trabajo de Fin de Grado tiene gran importancia por dos motivos:

- Es uno de los primeros contactos con “la vida real”, por ello creo que es necesario la elección de un TFG que nos acerque al mundo de la ingeniería eléctrica teniendo en cuenta todos los conocimientos aprendidos durante el grado. Por esta razón he preferido la opción de trabajar en un proyecto a realizar una investigación.
- Vamos a invertir un gran número de horas en ello, por lo que es necesario que el tema del trabajo nos motive.

Las Subestaciones de Tracción ferroviarias es un tema que está a la orden del día y en continuo desarrollo, este ha sido uno de los motivos de la elección. El saber el funcionamiento en el que se basa este transporte tan utilizado por la mayoría de personas, desplazamiento de mercancías y por mí personalmente a diario.

Empezando a trabajar en el proyecto, uno rápidamente se da cuenta de los diversos tipos de Subestaciones de Tracción existentes, dependiendo de la época, lugar y uso específico. En particular, en este proyecto se trata de una subestación correspondiente a las líneas de alta velocidad en España, tema de controversia en la actualidad del país.

Además, la parte específica a trabajar en el proyecto, es el diseño y dimensionamiento de una línea de media tensión con sus debida Red de Tierras y protecciones. Este tema lo encuentro muy interesante, ya que en la asignatura cursada en cuarto en cuarto curso de grado, Protecciones Eléctricas, vimos bastantes

aplicaciones. Además, es usado en cualquier instalación eléctrica. Por estas razones creo que dimensionar una instalación de este modo, es bastante útil para adquirir conocimientos de la materia y empezar a familiarizarse con las instalaciones eléctricas y reglamentos.

También es necesario el dimensionamiento de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI), elemento utilizado en diversas aplicaciones industriales, hospitales, centros de investigación, etc. Con esto se hablará sobre los distintos tipos de SAI, así como sus principales aplicaciones y componentes. Se explicará de forma detallada el modelo diseñado en el proyecto

### **1.3. Objetivos del Trabajo de Fin de Grado**

Con la realización de este proyecto, se pretende alcanzar los siguientes objetivos:

- Estudiar y conocer el mundo de la tracción eléctrica, haciendo especial hincapié en el tipo de Subestaciones de Tracción, funcionamiento, posibles fallos y soluciones.
- Conocer las distintas formas de electrificación dentro de la tracción ferroviaria, con sus ventajas e inconvenientes. Profundizando en la electrificación bifásica, que es la electrificación que ocupa dicho proyecto.
- Adquirir conocimientos sobre las instalaciones existentes en una Base de Mantenimiento de una línea de Alta Velocidad y las principales actividades que se realizan en su interior.
- Realizar un estudio de los Sistemas de Alimentación Ininterrumpido (SAI's), conociendo las distintas configuraciones y usos. También se quiere conocer su composición y el propósito de cada componente, así como las principales características a la hora de elegir un SAI.
- Tomar una solución para llevar a cabo el proyecto, diseñando con esto la línea eléctrica de Media y Baja Tensión. Selección de las casetas prefabricadas para albergar el equipamiento eléctrico: transformador, SAI, celdas de protección, baterías, etc.
- Desarrollo de todos los cálculos eléctricos necesarios que justifiquen la solución adoptada.
- Comprobación de instalaciones de Baja Tensión y modificación en caso de existir alguna deficiencia.
- Elaboración de planos necesarios para la definición de la solución adoptada.
- Desarrollar un plan de trabajos del proyecto, así como un presupuesto aproximado del mismo

## **1.4. Estructura del Trabajo de Fin de Grado**

Para facilitar la lectura del Trabajo Fin de Grado, a continuación se muestra su estructura general:

### **Capítulo 1: Introducción y objetivos**

En este primer capítulo se hace una pequeña introducción del TFG, explicando el tema a tratar, la motivación, objetivos a alcanzar y su estructura

### **Capítulo 2: Tracción eléctrica**

En este apartado se realiza una introducción de la tracción eléctrica, explicando los principales componentes y diferencias de los dos tipos de electrificación ferroviaria: corriente continua y alterna. Se realiza especial mención a las subestaciones de Tracción 2x25 kV porque dicha electrificación está presente en este TFG.

### **Capítulo 3: Sistemas de Alimentación Ininterrumpida (SAI's)**

El capítulo 3 es uno de los más extensos y aborda la temática de los SAI's. En líneas generales, consta de los siguientes apartados:

1. Introducción de los SAI's, mostrando su funcionamiento principal y una posible clasificación.
2. Clasificación de los SAI dependiendo de sus distintas aplicaciones
3. Descomposición de los principales elementos que constituyen un SAI.
4. Principales parámetros a tener en cuenta para la elección de un SAI. Potencia, factor de potencia, distorsión armónica. Asimismo se muestran las distintas configuraciones de un SAI en función de la criticidad de las cargas
5. Protección de las personas en sistemas de alimentación con fuentes ininterrumpidas de energía eléctrica. Esta conexión se llevará a cabo contra contactos directos e indirectos, profundizando en los diferentes regímenes de conexión del neutro a tierra.
6. Cargador de Baterías: Este elemento es el más delicado e importante. Se exponen los diferentes tipos de baterías utilizadas con sus distintas ventajas y desventajas.

### **Capítulo 4: Descripción de las instalaciones**

Este es uno de los capítulos con mayor importancia. En dicho apartado, se hace una descripción del equipamiento eléctrico que se va a instalar en la Base de Mantenimiento y las modificaciones o ampliaciones que se van a realizar en la Subestación de Tracción.

### **Capítulo 5: Cálculos eléctricos**

En el capítulo 5 se desarrollan los diferentes cálculos necesarios para el dimensionamiento de la línea eléctrica subterránea de media tensión, embarrados, cables, Celdas de protección, Puesta a Tierra y cuadros de Baja Tensión. Para muchos de estos cálculos, se han formulados hojas de cálculo, utilizando software comercial de Microsoft Office, y concretamente, Excel.



## **Capítulo 6: Planos**

En este apartado se encuentran los diferentes planos que definen la correcta ejecución de los trabajos de dotación de una acometida eléctrica y SAI de una Base de Mantenimiento. Estos planos han sido elaborados mediante el software comercial AutoCAD.

## **Capítulo 7: Plan de trabajo**

Se muestra el plan de trabajo a lo largo de este TFG, con una división de las tareas y los tiempos empleados en cada una. Este documento, ha sido realizado con el software comercial Microsoft Project.

## **Capítulo 8: Presupuesto**

En este apartado, se presenta un presupuesto aproximado del proyecto, con el coste de las nuevas instalaciones y las distintas modificaciones a realizar en la Subestación Eléctrica de Tracción y el Cuadro Eléctrico de Baja Tensión (CGBT) de la Base de Mantenimiento.

## **Capítulo 9: Conclusiones y trabajos futuros**

Una vez finalizados los capítulos anteriores, se realiza una enumeración de los objetivos iniciales alcanzados y conclusiones obtenidas. Para finalizar, se proponen diferentes líneas de mejora o temáticas sobre las que el alumno, desearía profundizar en el futuro.

## **Capítulo 10: bibliografía**

Se expone la bibliografía empleada para la redacción de los capítulos que integran el TFG.

## 2. Tracción eléctrica

La tracción eléctrica tiene como principal función el transporte seguro y fiable de las personas y mercancías gracias al uso de líneas de ferrocarril electrificadas. Con esto, el objetivo de la alimentación a la tracción eléctrica es asegurar un correcto funcionamiento a los vehículos.

La alimentación en tracción eléctrica comprende la subestación generadora y red de transporte, que pertenecen a la compañía generadora. También incluye la Subestación de Tracción y captación de corriente, de los cuales se hablará en los siguientes apartados

Todas las instalaciones de alimentación a la tracción eléctrica tienen que ser diseñadas, construidas y funcionar cumpliendo la norma EN 50126 sobre seguridad, fiabilidad y mantenibilidad. [1]

### 2.1. Electrificación bifásica

Se entiende por electrificación ferroviaria al conjunto de las instalaciones que hacen posible que la energía eléctrica llegue al material móvil, con la potencia necesaria.

Los tipos de electrificación más utilizados en los sistemas de tracción eléctrica en Europa son los que se muestra en la Tabla 2.1:

**Tabla 2.1: Tipos de tensión en ferrocarriles europeos según EN 50163 [1]**

Tipo de alimentación	$U_n$	$U_{min2}$	$U_{min1}$	$U_{max1}$	$U_{max2}$	$U_{max3}$
600 Vcc	600		400	720	800	-
750 Vcc	750		500	900	1.000	1.270
1,5 kVcc	1.500		1.000	1.800	1.950	2.540
3,0 kVcc	3.000		2.000	3600	3.900	5.075
15 kVac 16,7 Hz	150.000	11.000	12.000	17.250	18.000	24.300
25 kVac 50 Hz	25.000	17.500	19.000	27.500	29.000	38.750

Siendo:

$U_n$ : tensión nominal [V]

$U_{min1}$ : tensión permanente mínima [V]

$U_{min2}$ : tensión no permanente mínima [V]

$U_{max1}$ : tensión permanente máxima [V]

$U_{max2}$ : tensión no permanente máxima [V]

$U_{max3}$ : sobretensión más elevada de larga duración para  $t=20$  ms [V].

En España las tensiones de electrificación para el ferrocarril convencional de ancho de vía UIC (1.435 mm) son de 3.000 V en corriente continua y 25 kV en corriente alterna para líneas de alta velocidad.[1]

### 2.1.1. Sistema de alimentación 2x25 kV

La subestación del presente TFG presenta un esquema de electrificación 2x25 kV y sirve como punto de suministro a la Base de Mantenimiento. Este tipo de electrificación es uno de las más utilizadas a nivel mundial en países como Italia, Japón, Francia o Rusia, gracias a las ventajas que tiene su instalación. En la Figura 2.1 se muestra el esquema general de electrificación 2x25 kV, donde vemos, de manera simplificada las partes principales que forman este sistema.

En la figura mencionada, se puede observar que a cada calle de 25 kV se le asigna un transformador. Además se aprecia que si el primer transformador es alimentado por las fases R Y S, el siguiente transformador, será alimentado por las fases S y T. Esto se produce para que ninguna fase quede sobrecargada y compensar posibles desequilibrios ocasionados por los trenes. También es destacada la presencia de autotransformadores, claves en este sistema de alimentación. El funcionamiento viene explicado a continuación.

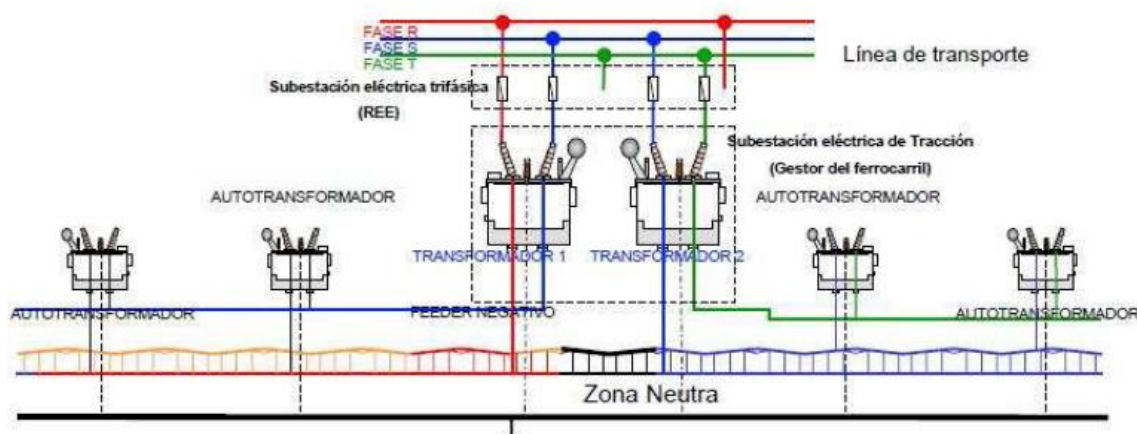
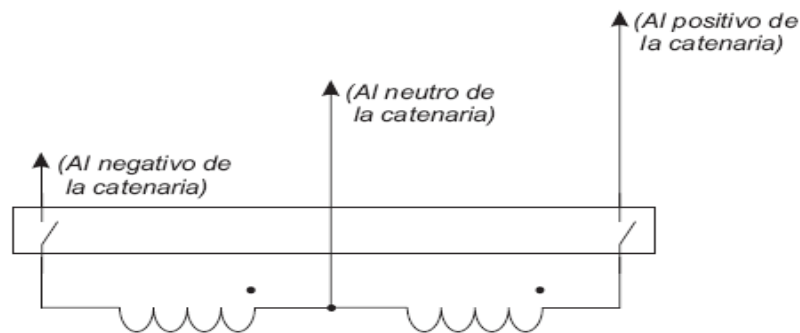


Figura 2.1: Esquema de electrificación 2x25 kV [2]

Este sistema de alimentación empezó a utilizarse en aquellos casos en los que las infraestructuras de líneas del territorio no disponían de un mallado suficiente por diferentes motivos como el tendido de líneas eléctricas bajo protección medioambiental. [1]

Uno de los requisitos de los sistemas de 2x25 kV es la existencia de autotransformadores a lo largo del trazado con una separación entre 10-15 km. Las tomas de estos autotransformadores se conectan a la catenaria, feeder y tierra, como se observa en la Figura 2.2. Su función es redistribuir las corrientes de retorno que penetran por la toma central del autotransformador hacia el feeder negativo, convirtiéndose así en el cable de retorno de la corriente principal.



**Figura 2.2: Conexión de autotransformador a catenaria. [3]**

Es una forma mediante la cual, las subestaciones puedan alimentar un tramo mayor de línea aérea de contacto sin superar las caídas de tensión permitidas. Esto es una gran ventaja, ya que esta distancia de punta que puede alimentar, es del orden de 45-50 km, frente a los 25 km que pueden alimentar los sistemas de 1x25 kV.

La subestación del presente TFG dispondrá de dos transformadores conectados a la Red de Transporte de 400 KV. El secundario del transformador tiene tres tomas. De las dos tomas extremas, una se conecta a la catenaria o feeder positivo y la otra al feeder negativo que alimenta a consumos auxiliares de la línea de Alta Velocidad (Edificios Técnicos, calefacción de agujas, motores de seccionadores, etc.) mientras que la toma central se conecta al carril y a la red de tierras de la subestación. Esta conexión hace que en las fases extremas aparezcan unas tensiones de 25 KV desfasados 180°. Se tiene así por una parte una diferencia de tensión nominal de 50 KV entre el feeder positivo y feeder negativo. Por otra parte la tensión entre feeder positivo y carril es de 25 KV.

Cada transformador alimenta a un cantón separado por una Zona Neutra de separación de fases. Estas Zonas Neutras son unos tramos de la línea de contacto de 600 m que aísla secciones colaterales alimentadas por diferentes subestaciones con diferente secuencia de fase, de tal forma que no puedan ser puenteadas por los pantógrafos de las unidades de tracción. [1]

Cada vehículo que circule por la línea estará alimentado por una fase del transformador que corresponda, evitando así desequilibrios en la Red de Transporte. La zona de influencia de un transformador es la delimitada por su subestación y la zona neutra, a partir de este punto el vehículo pasa a estar alimentado por otra fase, la del transformador de la siguiente subestación.

Los sistemas de electrificación 2x25 kV presenta ciertas ventajas e inconvenientes respecto de los sistemas de alimentación 1x25 KV, tal y como se muestra en la Tabla 2.2.

La decisión de instalar un sistema 1x25 kV o 2x25 kV está basado en un estudio económico y evaluación de las posibles perturbaciones electromagnéticas de uno y otro sistema ya que ambos son interoperables. [1]

**Tabla 2.2: Comparación entre 1x25 kV y 2x25 kV**

	1 x 25 kV	2 x 25 kV
Potencia instalada	2 x 30 MVA (habitualmente)	2 x 60 MVA (habitualmente)
Instalaciones	Simplicidad de la subestación. La instalación consta unicamente de la catenaria y circuito de retorno Aparellaje de de maniobra y protecciones muy sencillas	Instalación más compleja Necesidad de instalar autotrafos cada 12 km, Aparellaje, y protecciones más costosas y complejas de tarar
Corrientes circulantes	Debido a la ausencia de autotransformadores, las corrientes circulantes son mayores provocando mayores caídas de tensión.	Debido a la existencia de autotransformadores, la corriente circulante se reduce.
Perturbaciones inducidas por campos magnéticos	La corriente que circula por el terreno es muy elevada, produciendo perturbaciones electromagnéticas con su necesatrio apantallamiento	La corriente que circula es muy reducida y esto hace que las perturbaciones electromagnéticas sean practicamente nulas
Distancia entre subestaciones	Debido a las elevadas corrientes y elevadas impedancias, la distancia entre subestaciones es de 25 km aproximadamente	Debido a las corrientes reducidas y pequeñas impedancias tenemos una separación entre subestaciones de 60-80 km
Impacto ambiental	Al haber más subestaciones, el impacto ambiental es mayor	Tenemos menor número de subestaciones por que reduce e impacto ambiental
Desequilibrios de red	Se reducen con la rotación de fases	Condicionados a la potencia de cortocircuito del punto de conexión. Se reducen con la rotación de fases

## 2.2. Subestaciones de Tracción

La Subestación de Tracción es la subestación encargada de la adecuación de los niveles de tensión desde los niveles de la red trifásica a los niveles de la catenaria. Se denomina catenaria al conjunto de conductores que es necesario instalar a lo largo de la línea para realizar el transporte de la energía eléctrica.

La subestación dispone de dos calles conectadas a una posición de la Subestación de Transporte (400kV) propiedad de Red Eléctrica de España, y mediante su transformación a media tensión (25kV), hacen apta la energía eléctrica para ser utilizada a través de la catenaria por las cargas de tracción.

Este tipo de subestaciones se controlan desde el centro de control mediante un sistema de telemando. Esto permite realizar maniobras en varias subestaciones de forma coordinada, para adaptar la topología de la

electrificación a las necesidades. Así se puede realizar cualquier tipo de maniobra, como controlar cierre o apertura de interruptores en caso de fallo o mantenimiento.

Además en las Subestaciones de Tracción se instalan los elementos necesarios de medida y protección, para garantizar la seguridad de la instalación ante elevadas subidas de tensión y corriente. [2]

### **2.2.1. Tipos de Subestaciones de Tracción**

Al igual que los sistemas de electrificación, las Subestaciones de Tracción se dividen en dos grandes grupos:

- Subestaciones de corriente continua.
- Subestaciones de corriente alterna.

#### **2.2.1.1. Subestaciones de Tracción en corriente continua**

De forma general las subestaciones de corriente continua presentan instalaciones más complejas y están formadas por dos partes claramente diferenciadas [2]:

- La parte de alterna, formada por la línea transporte de energía de llegada a la propia subestación, así como los elementos de maniobra, protección, medida y protecciones. También se incluye el transformador, que reduce la tensión a niveles relativamente bajos.
- La parte de continua, compuesta por el grupo rectificador, el cual transforma la corriente alterna en continua para alimentar así la catenaria.

Las Subestaciones de Tracción en corriente continua eran las utilizadas al inicio del ferrocarril debido a sus características favorables tales como fuerte par de arranque. Dichas propiedades son adecuadas para tracción ferroviaria y eran utilizadas debido a que la curva esfuerzo velocidad de los motores de conmutación serie de corriente continua era más favorable en las aplicaciones ferroviarias.

De forma global, la mitad de Subestaciones de Tracción siguen siendo de corriente continua. La desventaja está en que utilizan una tensión baja y por ello las corrientes son grandes cuando los vehículos de tracción demandan potencias elevadas. Por esto requieren unos dimensionamiento mayores con aparataje compleja y mayores niveles de aislamiento. [1]

#### **2.2.1.2. Subestaciones de Tracción en corriente alterna**

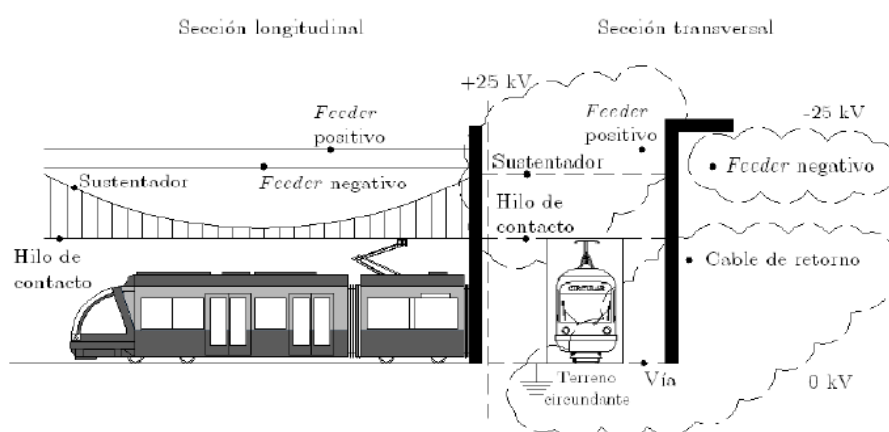
Esta modalidad presenta algunas ventajas como facilidad de producción, facilidad de modificación de tensiones con buen rendimiento y capacidad de transportar esta tensión a grandes distancias con pérdidas prácticamente despreciables. [2]

A partir del siglo XX, se empezó a trabajar para combinar las ventajas de las antiguas subestaciones con las de corriente alterna, teniendo como objetivo un motor serie monofásico en corriente alterna, así se ahorra la rectificación de la corriente.

Respecto a los elementos necesarios en la subestación, en ambas topologías son muy similares. La diferencia principal está en que en las Subestaciones de corriente alterna no es necesaria la conversión de corriente alterna a corriente continua, sino que la tensión proveniente de la red se transforma en los niveles de tensión adecuados pero también en alterna. [4]

## 2.3. Captación de corriente

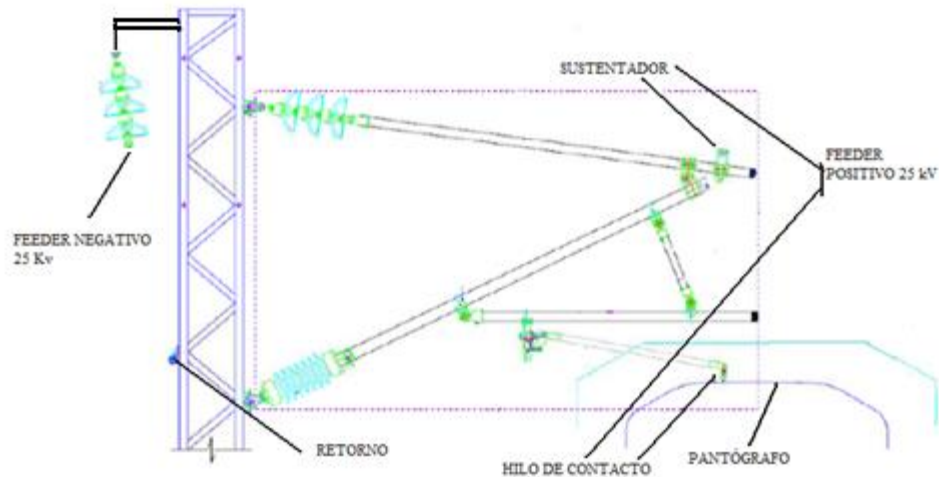
La captación de corriente de por los vehículos se realiza gracias a los conductores habituales en un circuito de tracción como se muestran en la Figura 2.3:



**Figura 2.3: Configuración del sistema de tracción [5]**

- **Pantógrafo:** dispositivo montado en el vehículo destinado a la captación de corriente de forma fiable y segura.[1]
- **Hilos de contacto:** conductores encargados de suministrar energía a los vehículos de tracción. Es el conductor en el que el pantógrafo hace contacto. Se suelen emplear conductores de cobre.[5]
- **Sustentador:** conductor encargado de soportar el peso de los hilos de contacto, a través de las péndolas. Se suelen emplear conductores de cobre como se puede observar en la figura 2,4, el sustentador junto al hilo de contacto forman el feeder positivo, el cual tiene como objetivo la alimentación de la catenaria de las subestaciones.[5]
- **Carriles,railes o vías:** además de ser puntos de apoyo para los trenes sirven como captadores de las corrientes que salen de los trenes. [5]
- **Cables de retorno:** son usados como refuerzos de las vías. Es la parte que se encarga de transportar las corrientes parásitas de los trenes y devolverlas a la subestación. Esto hace que el suministro de energía a la catenaria de una línea eléctrica de tracción conforme una red cerrada. Se suelen emplear conductores de aluminio con alma de acero. [6][5]

- Feeder negativo: por los feeder negativo, circula una corriente igual y contraria a la que circula por la catenaria, en los tramos exteriores al módulo en que se encuentra el tren, con lo que los efectos de la inducción de las corrientes por catenaria se contrarrestan con los efectos de las corrientes por el feeder negativo.[7]

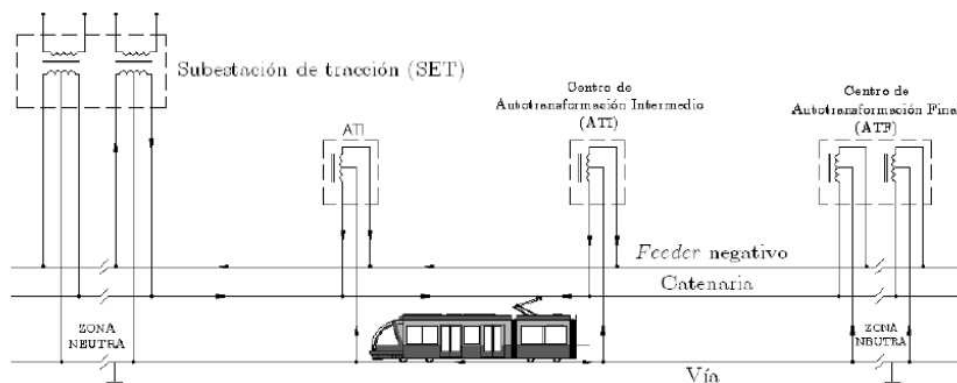


**Figura 2.4: Elementos de línea de contacto [7]**

Para cumplir con los requisitos expuestos en la norma EN 50126, la línea de contacto ha de estar diseñada con los siguientes criterios [1]:

- Alimentación a los dispositivos de captación de corriente sin interrupciones.
- Posibilidad de recuperar la energía aportada por los vehículos durante su frenado.
- Cumplir con los parámetros de calidad de la tensión eléctrica en el pantógrafo del vehículo.

La corriente que circula por la catenaria se reparte entre todos los conductores proporcionalmente a las impedancias de cada uno de ellos. En cada uno de estos conductores, la corriente no debe superar un valor máximo impuesto por el fabricante y depende fundamentalmente del calentamiento admisible.[5]



**Figura 2.5: sistema de alimentación 2x25 kV con autotransformadores [4]**



## **2.4. Subestación de tracción 2x25 kV**

Una Subestación de Tracción de corriente alterna con sistema 2x25 kV, dispone de dos calles independientes conectadas a una Subestación de Transporte de 400 kV. A cada calle se le asigna un transformador 400/25kV de 60 MVA con una secuencia de fases diferentes, para compensar los posibles desequilibrios que ocasionan los trenes, vistos como una carga de elevada potencia y variable como consecuencia de su movimiento.

Aguas arriba de los transformadores, se disponen dos interruptores bipolares para protección así como de seccionadores tripolares con puesta a Tierra.

Cada transformador alimenta de forma separada a dos subsectores o cantones, separados eléctricamente por zonas neutras, pero previamente se dispone de un edificio en el que se alojan sendas celdas de SF6 de 55 kV que permiten la operación y maniobra en el entorno ferroviario. Asimismo, en este edificio se dispone de los cuadros eléctricos de Baja de Tensión de la Subestación y el equipo de control y telemando

La subestación posee dos transformadores de servicios auxiliares que se conectan del feeder positivo mediante dos celdas de aislamiento al aire de 36 kV con seccionador y fusible de protección. Para evitar el deterioro desigual de los transformadores de servicios auxiliares, se conmutan periódicamente.

El embarrado de 25 kV al que se conectan los servicios auxiliares será el punto de suministro de la Base de Mantenimiento objeto de este TFG.

### ***2.4.1. Modo de funcionamiento normal***

En modo de funcionamiento normal, los seccionadores de by-pass de la subestación se encuentran abiertos, de manera que los dos transformadores de tracción trabajan de forma separada. Por otro lado, los seccionadores de las zonas neutras se encuentran abiertos, así los cantones están aislados unos de otros.

En este modo, las distancias son pequeñas, por lo que el número de trenes a alimentar es reducido, así como la potencia a suministrar por cada transformador. Al ser las potencias reducidas, se reducen también las caídas de tensión así como las corrientes por las catenarias y los desequilibrios producidos por la red. Con todo esto, si el resto de elementos lo permite, es posible realizar una explotación mayor sin exceder los límites eléctricos. [3]

### ***2.4.2. Fallo en un transformador de tracción***

En caso de indisponibilidad de uno de los dos transformadores de tracción, el otro transformador existente es el que se encarga de alimentar a los dos cantones. Para ello se abren los seccionadores que permiten aislar el transformador afectado y se cierra el seccionador de by-pass de las salidas de los dos transformadores.

De este modo toda la potencia demanda es suministrada por un único transformador. Con esto se tienen unas caídas de tensión mayores, al igual que las corrientes en el transformador. Los desequilibrios en la red serán mayores ya que una fase no suministra nada de potencia. La corriente circulante por la catenaria experimenta un mínimo aumento debido a la disminución de las tensiones en la catenaria. [3]

### 2.4.3. Fallo en subestación de tracción

En caso de fallo en la Subestación de Tracción, cada cantón es alimentado por la subestación colateral. En este modo de funcionamiento, los seccionadores que conectan a la subestación afectada a la catenaria se encuentran abiertos. Por otro lado los seccionadores de las zonas neutra afectadas están cerrados para poder alimentar cada uno de los subsectores desde las subestaciones colaterales. [3]

### 2.4.4. Fallo en catenaria

Si se produce este tipo de fallo, puede resultar imposible continua el suministro. En estas condiciones, es importante aislar el tramo afectado de manera que el problema no afecte al resto de la instalación.

Esta situación es la más grave de las mencionadas anteriormente, ya que implica la interrupción del servicio en el cantón afectado [5]

### 2.4.5. Fallos en 25 kV que afectan a la alimentación de la Subestación

En la Figura 2.6 se aprecian los distintos fallos que se pueden dar en la Subestación. Se comentaran las consecuencias de cada fallo, prestando especial atención a la alimentación de la Base de Mantenimiento:

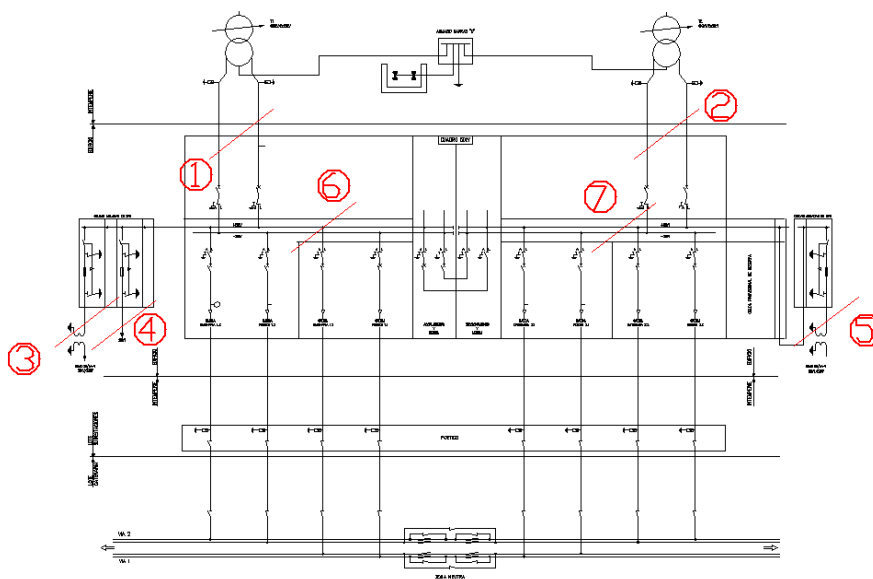


Figura 2.6: Posibles fallos en una Subestación de Tracción 2x25 kV

- Fallo nº1 y 2: Si el fallo es producido en uno de los transformadores principales, dicho transformador queda inhabilitado. El otro transformador será el encargado de alimentar a la Base de Mantenimiento y a los Servicios Auxiliares, mediante la operación del seccionador.

De esta manera, el transformador que mantiene el servicio tendrá una sobrecarga durante el tiempo de reparación, pero la Base de Mantenimiento seguirá teniendo alimentación eléctrica.

- Fallo nº3: Si se produce una avería eléctrica en la línea que alimenta a la Base de Mantenimiento, esta, como es lógico, se quedará sin servicio.
- Fallo nº4 y 5: Si el fallo es aguas arriba de los transformadores de servicios auxiliares, estos se quedarán inhabilitados.
- Fallo nº 6 y 7: Si el fallo se produce en el embarrado del transformador, los servicios conectados a dicho embarrado, se quedarán sin suministro eléctrico mientras dure la avería. Por lo tanto, en el caso del nº6, la Base de Mantenimiento no tendría suministro eléctrico.

## 3. Sistema de Alimentación Ininterrumpida

### 3.1. Introducción

Los problemas típicos de calidad de suministro, es un tema cada vez más urgente, dado el crecimiento que están teniendo en los últimos años los equipos electrónicos que requieren un suministro eléctrico fiable en un gran número de aplicaciones. Desafortunadamente las infraestructuras instaladas (líneas de transporte, distribución y específicas de líneas ferroviarias) no pueden ser mejoradas para garantizar una calidad de red para este tipo de consumos, dado que no se justifica la inversión. Por esto, la solución más extendida es equipar de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida en Baja Tensión para adecuar los niveles de calidad de red necesarios.

El fallo o avería de un sistema eléctrico o electrónico, puede tener graves consecuencias. Las causas de estas averías pueden ser muy variadas, sin embargo, las perturbaciones y armónicos juegan un papel muy importante. [8]

Los SAI's son dispositivos que gracias a sus baterías y otros grupos almacenadores de energía nos puede proporcionar energía eléctrica durante un tiempo ilimitado de tiempo, debido a apagones o cortes de corriente. Además estos equipos tienen otras funciones positivas como la mejora de calidad de la energía eléctrica eliminando armónicos y filtrando bajadas y subidas de tensión gracias a distintos dispositivos como rectificadores y convertidores. [9]

El SAI se instala entre la línea de suministro y un ramal de utilización para cargas, protegiendo a estas de las perturbaciones existentes en la línea de alimentación. Estas perturbaciones pueden ocasionar parásitos, fluctuaciones de tensión y frecuencia, micicortes y cortes de suministro. [10]

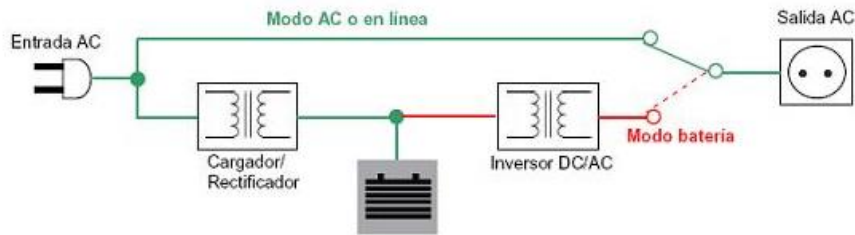
Para conocer la potencia que requiere un equipo de SAI, se debe conocer el consumo. Como norma general se recomienda seleccionar un SAI cuya capacidad sea un 20% mayor que el consumo que vamos a tener.

### 3.2. Clasificación de SAI's

Se pueden diferenciar los siguientes tipos de SAI:

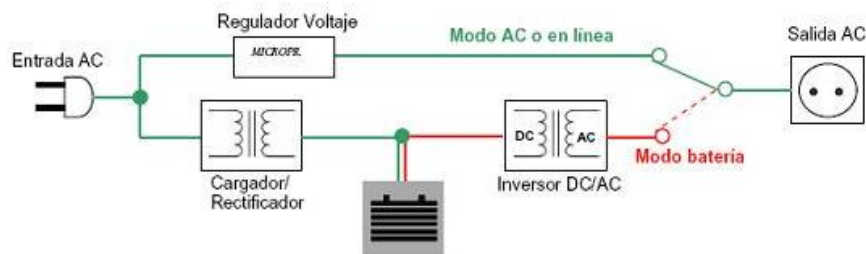
- SAI stand-by pasivo “off-line”: el SAI únicamente nos proporciona energía eléctrica cuando detecta un fallo de corriente. En el momento que las características de la red superan el nivel de tolerancia o falla su suministro, un contactor estático conmuta la alimentación, derivándola al conmutador en menos de 10 ms, así alimentamos la carga desde la energía almacenada en la batería, tal y como se puede observar en la Figura 3.1.

Este tipo de sistema filtra algunas perturbaciones y regulan en cierta medida la tensión de la red, es recomendable para equipos pequeños que funcionan en zonas con una red estable. [10]



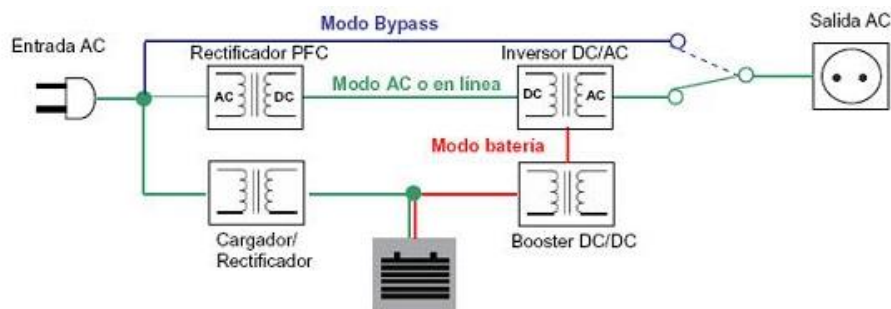
**Figura 3.1: SAI stand-by pasivo “off-line” [11]**

- SAI stand-by activo (line interactive): parecidos a los off-Line pero intercala un acondicionador de tensión entre la línea y la utilización (Figura 3.2), lo que evita la conmutación de las baterías mejorando así el funcionamiento global. Estos SAI son adecuados para ordenadores de gama media, pequeños servidores de red, oficinas, etc.[9]



**Figura 3.2: SAI stand-by activo [11]**

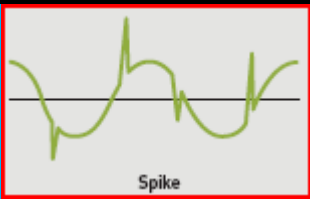
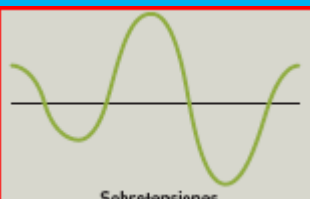




- SAI doble conversión “On-line”: insertados en serie entre la red y las cargas. Estos realizan una doble conversión de la energía eléctrica que recibe, transformándola en continua y después en alterna de nuevo, eliminando así todos los problemas que pueda haber. Un SAI On-line proporciona siempre energía eléctrica directamente desde sus baterías mientras que estas se van cargando de la red (Figura 3.3), esto hace que tengamos una protección total contra cualquier problema de la red eléctrica. Estos SAI son adecuados para aplicaciones de grandes potencias, hasta varios MVA. [10]



**Figura 3.3: SAI on-line [11]**

Los eventos que amenazan constantemente los aparatos electrónicos son los que se muestran en la Tabla 3.1:

**Tabla 3.1: eventos que amenazan a los aparatos electrónicos [12]**

PROBLEMA	DESCRIPCIÓN	EFFECTOS
 <p>Spike</p>	<p>Un Spike, o transición de tensión, es un aumento imprevisto de la tensión. Suelen ser ocasionados por rayos.</p>	<p>Puede afectar a los aparatos electrónicos a través de la red, dañando o destruyendo los componentes pudiendo ocasionar pérdida de datos.</p>
 <p>Sobretensiones</p>	<p>Aumento de tensión de breve duración. Puede ser ocasionada por motores eléctricos de gran potencia, como los sistemas de accionamiento.</p>	<p>Los dispositivos eléctricos de gran sensibilidad necesitan una tensión variable dentro de un campo de tolerancia. Estas sobretensiones someten a esfuerzos a los componentes delicados y ocasionan averías prematuras.</p>
 <p>Ruido EMI/ RFI</p>	<p>El ruido de interferencia electromagnética y de radiofrecuencia altera la sinusoidal suministrada. Es generado por diferentes factores como los rayos o conmutación de cargas.</p>	<p>El ruido puede ser intermitente o constante, e introduce los transitorios y los errores en las telecomunicaciones. Puede incluso provocar fallas de funcionamiento en varios aparatos eléctricos.</p>
 <p>Corrientes parásitas y armónicas</p>	<p>Son generadas por las perturbaciones o variaciones atmosféricas, variaciones de la carga, generadores de corriente e instalaciones industriales.</p>	<p>Estas interferencias ocasionan fallas en el funcionamiento de equipos eléctricos de diferentes tipos.</p>
 <p>Variaciones de frecuencia</p>	<p>En general están presentes en la energía producida por los grupos electrógenos.</p>	<p>Estas variaciones ocasionan errores en la ejecución de cálculos, dificultades de interpretación de soportes magnéticos y problemas en diferentes aplicaciones electromecánicas.</p>
 <p>Tensión insuficiente (Brown-Out)</p>	<p>Disminución de breve duración de los niveles de tensión. El problema más común es ocasionado por la puesta en funcionamiento de dispositivos eléctricos como motores o montacargas.</p>	<p>Reducción de la potencia que necesita un equipo para poder funcionar correctamente, con pérdidas de los datos.</p>


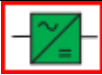



PROBLEMA	DESCRIPCIÓN	EFFECTOS
	Un apagón conlleva la ausencia total de alimentación. Puede ser ocasionada por una demanda excesiva de energía, terremotos, etc.	Se interrumpe el suministro con la parada de las distintas actividades que se estén realizando.

Tabla 3.2: posibilidades y aplicaciones de los distintos SAI [10]

Tipos de Protección		Toma/filtro	Acondicionador de red	SAI off-line Stand-by pasivo	SAI on-line doble conversión
Esquema básico					
Perturbaciones consideradas					
Tipo de perturbaciones de red	Tratamiento asociado				
Parásitos de alta Hz		•	•	•	•
Variación de la tensión	Regulación		•	•	•
Parásitos de alta y baja frecuencia	Aislamiento galvánico		•		•
Autonomía					
10 a 30 min, según batería				•	•
Potencia					
<250 VA		•	•	•	
300-1000 VA		•	•	•	•
1000-2500 VA			•	•	•
>2500 VA			•		•
Aplicaciones					
		Protección mínima	Para todas las aplicaciones sensibles	Microinformática de poca potencia	Para entornos muy perturbados o grandes potencias

En la tabla 3.2 se ven los diferentes tipos de SAI en función a posibles perturbaciones dadas en la línea, autonomía mínima necesaria, potencia del sistema y aplicaciones a desempeñar por el propio SAI. Teniendo en cuenta todas estas consideraciones, el SAI apropiado para el proyecto a realizar, sería un SAI on-line de doble conversión.

### 3.3. Componentes de un SAI

En la Figura 3.4 se puede ver la configuración general de un SAI:

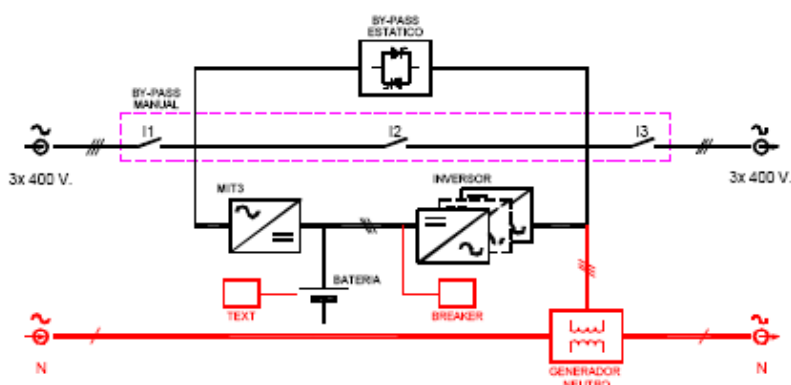


Figura 3.4: Diagrama de bloques SAI [13]

Los principales elementos y su función son los siguientes [14]:

- Filtro armónico: su función es atenuar y eliminar todas las perturbaciones de radiofrecuencia. Este filtro actúa de forma bi-direccional. Por un lado elimina las perturbaciones provenientes de la línea y protege a los circuitos de control del SAI. Por otro lado, evita que las posibles perturbaciones radioeléctricas que pudiera generar el SAI se propaguen hacia la línea y puedan afectar a otros equipos conectados a la misma.
- Rectificador: el grupo rectificador convierte la energía alterna proveniente de la red o subestación en corriente continua. Poseen sensores de corriente alterna para la medida y control de la corriente de entrada que nos permiten mejorar la calidad de la onda disminuyendo el valor de la Tasa de Distorsión Armónica (THD)
- Baterías de acumuladores: es uno de los componentes más importantes en un SAI, es lo que va a hacer posible que el sistema continúe encendido cuando haya un corte de energía. El conjunto de baterías acumulan energía durante el periodo de funcionamiento normal y se descargan en los periodos de funcionamiento de emergencia. Las baterías estarán dimensionadas para suministrar la potencia nominal a las cargas críticas durante el tiempo de autonomía para cualquier condición de carga.
- Inversor: en este elemento entra corriente continua procedente de la batería y sale corriente alterna con la menor distorsión y mayor rendimiento posible. Este sistema nos garantiza el suministro eléctrico al proceso, a partir de la tensión proporcionada por la batería en ausencia de red.



- By-pass estático: compuesto por parejas de tiristores en antiparalelo. Cuando el inversor no puede mantener la tensión para las cargas debido a sobrecargas, límite de corrientes o fallos, el SAI dispone de un By-pass estático que suministra aislamiento al inversor y alimenta a las cargas críticas directamente de la red eléctrica
- By-pass manual: los SAI están provistos por una línea auxiliar protegida por un interruptor magnetotérmico. Maniobrado adecuadamente este interruptor, junto con el de entrada y salida, permite aislar eléctricamente todos los elementos del SAI de las líneas eléctricas.

### 3.4. Elección de un SAI

La elección de un SAI se realiza en función de diferentes parámetros:

#### 3.4.1. *Potencia del SAI*

La potencia de un SAI se ha de ajustar teniendo en cuenta la potencia nominal del conjunto, extensiones posibles, capacidad de absorción de las sobrecargas, del propio SAI, en función de las corrientes de arranque de las cargas.

Además, debemos tener en cuenta, con la finalidad de no subdimensionar la instalación, que la capacidad de sobrecarga de SAI sea capaz de absorber las sobrecargas de los receptores. [10]

#### 3.4.2. *Factor de potencia y THD*

La distorsión armónica se produce cuando la señal de salida de un sistema no equivale a la señal que entró en él. Esta falta de linealidad afecta a la forma de la onda, porque el equipo ha introducido armónicos que no estaban en la señal de entrada. Puesto que son armónicos, esta distorsión no es tan disonante y es menos fácil de detectar. [15]

Se debe controlar el nivel de armónicos que circulan por la red para evitar problemas en la instalación y de funcionamiento de los equipos. Una tasa de armónicos elevada produce un sobrecalentamiento de los dispositivos que puede provocar el disparo de las protecciones y la disminución de la vida útil de todos los elementos e instrumentos [16]

Además, el control continuo de la corriente absorbida por la red permite obtener una bajísima distorsión armónica de la corriente de entrada (THD <3%). La distorsión armónica, ocasionada por cargas no lineales en las líneas de alimentación, determina que las corrientes presentes en la instalación sean más elevadas respecto de lo previsto y que contengan componentes armónicos de frecuencia, un fenómeno que puede ser seriamente subestimado ya que se trata de corrientes no mensurables con las herramientas portátiles normales con las que cuentan los encargados del mantenimiento. Incluso si la corriente permanece dentro de la capacidad de los dispositivos de protección de sobrecarga, consigue que los conductores funcionen a temperaturas superiores, ocasionando un derroche de energía cuantificable generalmente al equivalente del 2-3% de la carga total.

Un factor de potencia de entrada casi unitario y una baja distorsión armónica garantiza un impacto mínimo sobre la red y un elevado nivel de rendimiento energético que se traduce en una gestión de la energía con costes más reducidos.

Todos los proveedores de SAI nos proporcionan dos factores de potencia para sus equipos, uno para la salida y otro para la entrada.

El factor de potencia a la entrada corresponde al que tiene el SAI como carga, es decir, el que provoca las conmutaciones en el rectificador al pasar de corriente alterna a continua. Cuanto más se aleja el factor de potencia del valor unitario, mayor es la potencia reactiva que es absorbida por la red, esto supone aumentos tarifarios por parte del gestor. Este factor de potencia debe tener un valor superior a 0,9 inductivo, si no deberíamos instalar un banco de condensadores para solucionarlo.

El factor de potencia a la salida normalmente tiene un valor de 0,8 inductivo. Esto se debe a que en el diseño del SAI se instala un filtro a la salida para tener una onda completamente sinusoidal, ya que el fdp estándar de una carga está definido con este valor. [12]

En la tabla 3.3 se encuentran los principales parámetros con sus valores a tener en cuenta a la hora de elegir un SAI para tener una calidad de servicio óptima.

**Tabla 3.3: Rangos típicos de calidad de servicio [17]**

Parámetros	Rangos máximos
Variación de tensión de alimentación	-10% a +10% Un
Disturbios de tensión	
Subtensión momentánea	-25% a -30% menos de 0,5s -100% de 4 a 20 mS
Sobretensión transitoria	+150% a 200% menos de 0,2 s
Distorsión armónica	3% a 5%
Ruido	No normalizado
Variación de la frecuencia	50 Hz +/-0,5 a +/-1 Hz
Promedio de frecuencia en la carga	1 Hz/s
Desequilibrio de la tensión de fase, para sistemas trifásicos	2,5 a 5%
Desequilibrio de la carga, para sistemas trifásicos	5 a 20% máximo para cada fase
Factor de potencia	0,8 a 0,9

### 3.4.3. Configuración del SAI

En el diseño de toda instalación eléctrica se debe pensar en obtener la máxima fiabilidad y calidad de la energía, entendiendo por esto, la mejor calidad de onda posible y continuidad del suministro, sobre todo de las cargas que determinan la funcionalidad de la aplicación. [16]

Dependiendo de la criticidad de las cargas, se necesitan unos niveles de fiabilidad u otros del SAI instalado. En instalaciones como por ejemplo, dependencias policiales, hospitales, Centros de Procesamiento de Datos (CPD), etc., la pérdida de datos tiene una muy elevada importancia, ya que esto acarrearía grandes consecuencias en la sociedad.

Se recomienda que todos los elementos claves para el buen funcionamiento de la instalación, como pueden ser transformador, grupo electrógeno y SAI, sean instalados de manera redundante a fin de asegurar la continuidad de servicio de la aplicación en caso de avería o deterioro de uno de ellos. Esto ofrece la posibilidad de realizar el mantenimiento de los elementos sin necesidad de interrumpir el servicio.

A la hora de diseñar una configuración, se consideran las siguientes puntualizaciones:

- Los transformadores no es necesario que tengan una placa de características idéntica, pero deben de proporcionar la misma potencia mínima y tensión de cortocircuito para garantizar la alimentación de toda la instalación.
- El conjunto SAI debe tener  $n+1$  elementos, siendo  $n$  el número mínimo que se necesita para asegurar la continuidad de servicio de las cargas críticas. Cada módulo debe tener su by-pass estático y el conjunto, uno manual de mantenimiento.[16]

A continuación, se describen las configuraciones más comunes.

#### 3.4.3.1. Configuración de módulo único

La Figura 3.5 muestra el esquema de la configuración con una sola unidad, donde la carga crítica queda alimentada por un solo SAI. Esta configuración proporciona un buen nivel de fiabilidad por medio de su by-pass estático interno dimensionado para trabajar de forma continua [18]



Figura 3.5: Configuración de módulo único [18]

### 3.4.3.2. Configuración en paralelo distribuido

La configuración en paralelo de unidades SAI independientes ofrece una escalabilidad avanzada en términos de capacidad y redundancia, tal y como se puede observar en la Figura 3.6. Cada unidad dispone de su propio conmutador de by pass estático, ofreciendo así una operación en paralelo sin necesidad de un armario para el sistema de control, esto reduce los costes iniciales de instalación. En esta configuración pueden dirigirse comandos de sistema directamente a una sola unidad.

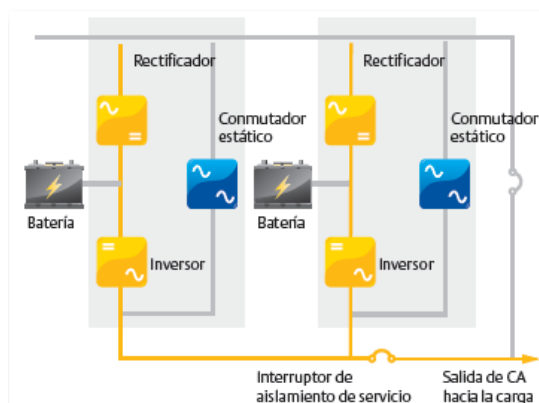


Figura 3.6: Configuración en paralelo distribuido [18]

### 3.4.3.3. Configuración en paralelo centralizado

En la configuración que se muestra en la Figura 3.7, el bypass estático de cada unidad queda desactivado y se instala un Main Static Switch o Conmutador Estático Principal (MSS) externo preparado para la capacidad máxima deseada.

El MSS puede integrarse fácilmente en cualquier cuadro de distribución, simplificando el cableado. [18]

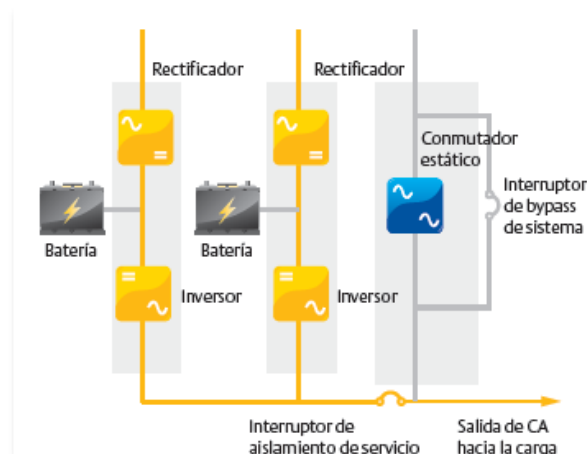


Figura 3.7: Configuración en paralelo centralizado [18]

### **3.5. Protección de personas en sistemas de alimentación con fuentes ininterrumpidas de energía eléctrica**

Las medidas destinadas a la protección de personas dependen de la posición del neutro de la instalación respecto a tierra. También puede depender de una fase si el neutro no existe o es inaccesible.

Cuando las instalaciones aguas arriba y abajo tengan diferentes esquemas de conexión del neutro a tierra, habrá que prever transformadores de separación que aseguren el aislamiento galvánico y permanente entre las instalaciones aguas arriba y aguas abajo. [19]

#### ***3.5.1. Protección contra los contactos directos***

La protección de las personas a los contactos directos, se asegura cuando el material se instala con recubrimiento. El grado de protección de estas envolventes será IP 2xx ó IP xxB según IEC 60529. [19]

Por lo general la protección ante accidentes en aplicaciones eléctricas queda garantizada por dicho recubrimiento, sin embargo, en este aislamiento puede producirse daños que provocan defectos que requieren medidas de protección adicionales contra las fuentes de corriente. De acuerdo a estos hechos, se debe procurar colocar en primer plano la protección contra contacto directo y luego, la protección adicional contra contacto indirecto. [16]

La protección de personas y de los bienes materiales adquiere una elevada importancia debido a que la energía eléctrica es un elemento básico para toda la actividad actual, esta depende básicamente del esquema de neutro que se defina para la instalación

La ITC-BT-30, indica que los locales en que deben disponerse baterías de acumuladores, se consideraran como emplazamientos con riesgos de corrosión debiendo cumplir lo siguiente [20]:

- El equipo eléctrico utilizado estará protegido contra los efectos de vapores y gases desprendidos por electrolito.
- Los locales deben estar provistos por una ventilación natural o forzada que garantice una renovación perfecta y rápida del aire. Los vapores evacuados no deben penetrar en locales contiguos.
- La iluminación artificial se realizará únicamente mediante lámparas eléctricas de incandescencia o de descarga.
- Las luminarias serán del material apropiado para soportar el ambiente corrosivo y evitar la penetración de gases en su interior.
- Los acumuladores que no aseguren por sí mismos y permanentemente un aislamiento suficiente entre partes en tensión y tierra, deberán ser instalados con un aislamiento suplementario.
- Los acumuladores estarán dispuestos de manera que pueda realizarse fácilmente la sustitución y el mantenimiento de cada elemento. Los pasillos de servicio tendrán una anchura mínima de 0,75 metros.
- Si la tensión de servicio en corriente continua es superior a 75 V con relación a tierra y existen partes desnudas bajo tensión que puedan tocarse inadvertidamente, el suelo de los pasillos de servicio será eléctricamente aislante.

- Las piezas desnudas bajo tensión, cuando entre estas existan tensiones superiores a 75 voltios en corriente continua, deberán instalarse de manera que sea imposible tocarlas simultánea e inadvertidamente.

### ***3.5.2. Protección contra los contactos indirectos***

Este tipo de contactos son los contactos de personas o de animales con masas puestas accidentalmente en tensión tras un defecto del aislamiento. Una persona que toca el aparato dañado al mismo tiempo que se produce el defecto, se conecta en paralelo al circuito de defecto. [19]

Frente a los peligros de la corriente eléctrica, la seguridad de las personas ha de estar fundamentada en que nunca puedan estar sometidas involuntariamente a una tensión peligrosa. Debido a esto, para la protección contra electrocución deben de poner los medios necesarios para que esto nunca ocurra.

Normalmente, esta protección se realiza mediante:

- Interconexión y puesta a tierra de las masas metálicas de una instalación.
- La eliminación de un defecto peligroso para las personas por medio de un dispositivo de protección cuya elección depende de los esquemas de conexión del neutro a tierra.

### ***3.5.3. Esquemas de conexión de neutro a tierra***

Las disposiciones a tomar, para asegurar la protección contra contactos eléctricos, son función del régimen de neutro y de la existencia o no de un aislamiento galvánico entre la alimentación y la salida del SAI [19]:

- Si el aislamiento galvánico entre la entrada y la salida del SAI no es completo, los regímenes de neutro de la alimentación y de la salida deben ser el mismo.
- Si por el contrario, el aislamiento galvánico es completo entre la entrada y salida del SAI, los regímenes del neutro de la alimentación y la salida pueden ser iguales o no.

Tenemos tres tipos de esquemas de conexión a tierra:

- Esquema TT: llamado neutro a tierra.
- Esquema TN: llamado de neutro a tierra.
- Esquema IT: llamado de neutro aislado o con impedancia.

La primera letra indica la situación del neutro en el origen de la instalación respecto a tierra:

- T: conexión directa del neutro a tierra.
- I: con aislamiento de todas las partes activas respecto a tierra o conexión del neutro a tierra a través de una impedancia.

La segunda letra indica la situación de las masas respecto a tierra:

- T: masas conectadas directamente a tierra.
- N: masas conectadas al neutro.

Además en régimen TN se emplean otras dos letras:

- TN-S: la función de protección es asegurada por un conductor distinto del neutro.
- TN-C: la función de neutro y protección se unen en un solo conductor.

La elección de la configuración no debe realizarse por criterios de seguridad, ya que los tres tipos son equivalentes en el aspecto de la protección de las personas si se respetan las reglas de instalación y explotación. Lo que realmente condiciona el régimen más adecuado para cada caso tiene que ser los imperativos reglamentarios, de continuidad de servicio, explotación y de naturaleza de la red y receptores. [10]

### 3.5.3.1. Régimen TT/TT

Esta configuración proporciona un corte al primer defecto de aislamiento, tal y como se muestra en la Figura 3.8.

La protección de personas contra los contactos está asegurada por dispositivos de corriente diferencial residual. Un interruptor diferencial se instala en el origen de cada línea de alimentación para proteger todas las derivaciones de la instalación.

Si el SAI está situado cerca del Cuadro General de Distribución (CGD), el neutro del ondulador se conecta directamente a la tierra del servicio del Centro de Transformación (CT). En caso contrario, no es necesaria la conexión permanente a la toma de tierra.

Esta es la configuración más empleada en las redes de distribución pública de Baja Tensión.

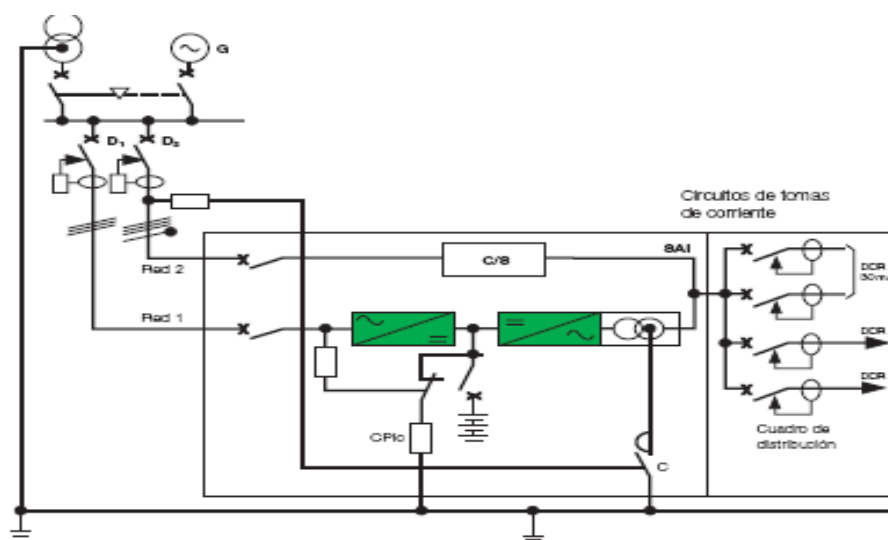


Figura 3.8: Esquema régimen TT/TT [10]

### 3.5.3.2. Régimen TN-C/TN-S

Al igual que en la configuración TT, se produce corte al primer defecto de aislamiento. En este caso la protección está realizada por las protecciones de sobreintensidad.

En el esquema TN-S, también denominado puesta a neutro, el punto de conexión de la conexión en estrella del transformador se conecta directamente a tierra y las masas de la instalación a este punto a través del conductor de protección. No deberán conectarse entre sí, excepto en un único punto de puesta a tierra de la instalación. De esta manera el conductor de neutro y el de protección son distintos. Con esta configuración tendríamos cinco conductores

La configuración TN-S tiene las siguientes características:

- Ideal cuando la alimentación es a través de un centro de transformación propio y los equipos son básicamente electrónicos.
- Es necesario que existan tomas de tierra repartidas uniformemente a lo largo de la instalación.

La configuración TN-C es similar que la anterior pero se tienen cuatro conductores únicamente, tres fases más neutro. Así las masas del neutro están conectadas al conductor neutro, tal y como se muestra en la Figura 3.9.

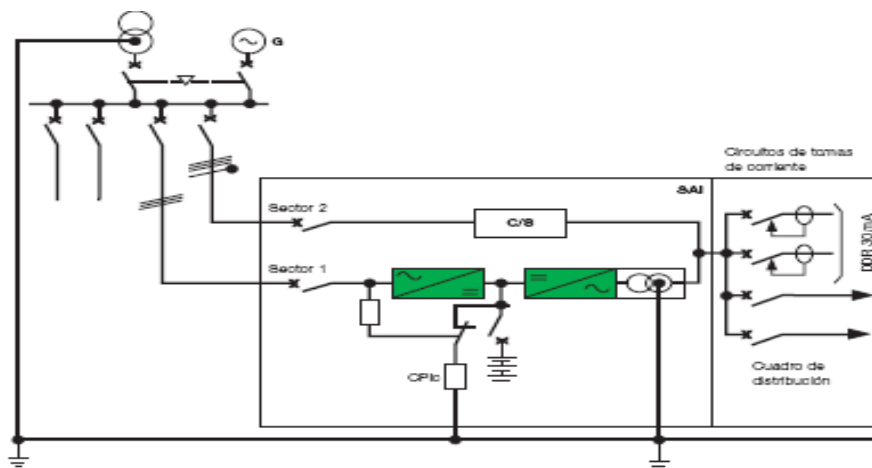


Figura 3.9: Régimen TN-C/TN-S [10]

### 3.5.3.3. Régimen IT/IT

Con esta configuración, a diferencia de las anteriores, el primer defecto de aislamiento no es peligroso.

Se debe asegurar la señalización del primer defecto de aislamiento, así la protección del segundo defecto, estará asegurada.

Los dispositivos de protección se instalan en el inicio del circuito, tal y como se muestra en la Figura 3.10.



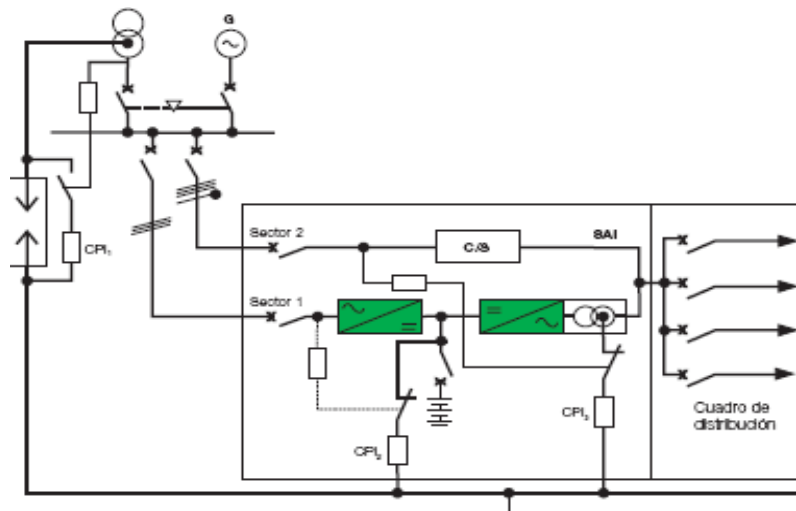


Figura 3.10: Configuración IT [10]

### 3.5.4. Separación galvánica de las líneas aguas arriba y abajo del SAI

Las disposiciones a tomar, para asegurar la protección contra los contactos eléctricos, son función del régimen del neutro y de la existencia o no de aislamiento galvánico entre la alimentación y la salida del SAI:

- Si el aislamiento galvánico entre la entrada y la salida del SAI no es completo, los regímenes de neutro de la alimentación y de la salida debe ser el mismo.
- Si el aislamiento galvánico es completo entre la entrada y salida del SAI, los regímenes de neutro de la alimentación y de la salida pueden ser iguales o no.[10][19]

## 3.6. Baterías

Las baterías son fundamentales para el sistema SAI, ellas garantizan la continuidad de alimentación suministrando la energía al inversor cuando está ausente la red de alimentación. Por esto, es indispensable que estén siempre conectas, en condiciones de funcionamiento y cargadas. Las baterías más utilizadas son de Níquel-Cadmio (NI-Cd) o de plomo ácido (Pb-ácido). [21]

- Baterías de plomo

La batería plomo ácido es, en la actualidad, imprescindible e insustituible, especialmente en automoción, pero también en otras aplicaciones como que exigen continuidad en el suministro eléctrico como puedan ser procesos industriales. [12]

Debido a su bajo coste es muy utilizada en la actualidad, presentando las distintas ventajas y desventajas que se muestran en la Tabla 3.4:

**Tabla 3.4: Ventajas e inconvenientes de baterías de plomo [22]**

VENTAJAS	INCONVENIENTES
Asequible y fácil de fabricar	Baja densidad de energía
La tecnología es fiable y bien conocida, es duradera y ofrece un servicio fiable	No puede ser almacenado en un estado de baja carga
La auto-descarga es de las más bajas de los sistemas de baterías recargables	Permite un número limitado de ciclos de descarga completa
Capacidad para altas tasas de descarga	Contenido de plomo-ácido que daña el medio ambiente
	No permite una carga rápida, la carga dura entre 8 y 16 horas

Para el correcto funcionamiento de estas baterías de plomo, es necesario seguir unas pautas de mantenimiento [22]:

- Mantener en un lugar donde la temperatura de las baterías sea entre 15 y 25 grados, los lugares fríos ralentizan la carga.
- Mantener los terminales de conexión, limpios y apretados a la carcasa de la batería seca
- Mantener el nivel del electrolito adecuado, añadiendo agua destilada cuando sea necesario
- Evitar la descarga completa de las baterías.

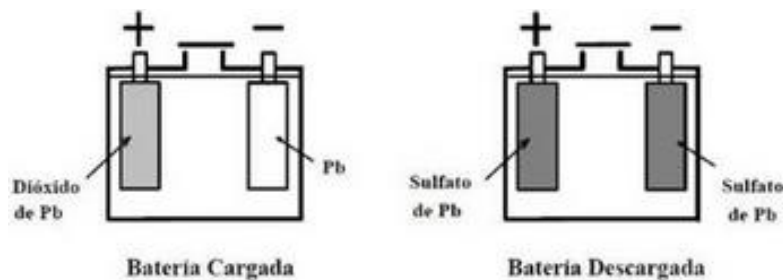


**Figura 3.11: Componentes de una batería de Plomo ácido [12]**

En la Figura 3.11, se pueden ver los principales componentes que forman una batería de Plomo ácido:

- Rejillas: estructuras fabricadas generalmente con aleaciones de plomo, utilizadas para conducir corriente eléctrica y servir de soporte al material activo.
- Placas: generalmente se trata de placas de plomo, paralelas entre sí y dispuestas alternadamente en cuanto a su polaridad. Debajo de las placas se deja un espacio para que se depositen eventuales desprendimientos de los materiales que forman las placas
- Separadores: Hojas de material microporoso. Son utilizados para evitar contactos directos entre las placas negativas y positivas
- Electrolito: solución de ácido sulfúrico y agua desmineralizada que actúa como conductor de la corriente eléctrica.[23][24]
- Caja y tapa: estructuras fabricadas generalmente en polipropileno para albergar los componentes internos de la batería. Diseñadas para resistir temperaturas extremas de calor y frío y el ataque del ácido sulfúrico.

En la Figura 3.12 se puede observar una batería de plomo ácido cargada y descargada. A continuación se explica el proceso.



**Figura 3.12: Batería de plomo cargada y descargada [22]**

Durante el proceso de carga inicial, el sulfato de plomo es reducido a plomo metal en las placas negativas, mientras que en las positivas se forma óxido de plomo ( $PbO_2$ ). En este proceso no se libera hidrógeno, el desprendimiento de hidrógeno provocaría la lenta degradación del electrodo, ayudando a que se desmoronase mecánicamente partes del mismo, acortando la duración de la batería. El hidrógeno se libera únicamente en caso de superar el nivel de carga recomendado. [24]

Durante la descarga se invierten los procesos de la carga. El óxido de plomo es reducido a sulfato de plomo, mientras que el plomo elemental es oxidado para dar igualmente sulfato de plomo. Los electrones intercambiados se aprovechan en forma de corriente eléctrica por un circuito externo.

La batería deja de funcionar cuando el sulfato de plomo forma cristales muy grandes, que ya no responden bien a los procesos indicados con lo que se pierde la condición de reversibilidad. Se dice entonces que el acumulador se ha sulfatado y es necesario cambiarlo. [22][25]

En desarrollo de estas baterías, se usan las baterías de plomo ácido gel. Esto significa que el electrolito está gelificado. Son diseñadas para proporcionarnos un alto rendimiento. La principal diferencia respecto a las anteriores es la duración. Aunque ambas presentan la misma capacidad de carga, las baterías de Gel soportan ciclos más prolongados de uso y una vida más larga, casi el doble.

- Baterías de NI-Cd:

Las baterías de Níquel-Cadmio tienen una estructura similar a las anteriores. En lugar de Plomo, utiliza hidróxido de Níquel para las placas positivas y óxido de Cadmio para las negativas, el electrolito es hidróxido de Potasio. Este tipo de baterías son recargables, sin embargo su uso cada vez es menor, a favor de las baterías de níquel-metal hidruro (NiMH). Una de las causas es el gran efecto contaminante que ejerce el Cadmio, además del elevado precio de este material. Uno de los usos más conocidos de las baterías de NiMH es el de las baterías en coches híbridos [26].

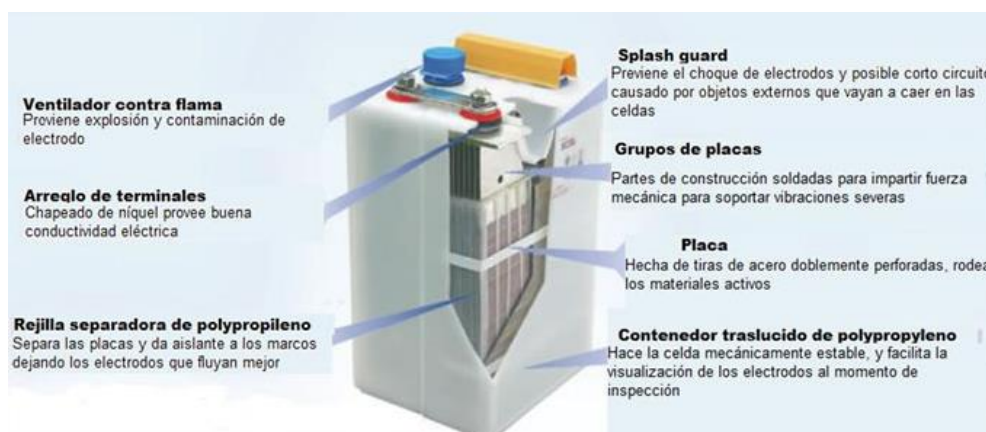
Otro de los problemas que presentan estas baterías es el llamado “efecto memoria”, la batería recuerda la profundidad de descarga y reduce su capacidad efectiva. Esto se debe a que el compuesto químico que se forma en una placa cargada tiende a cristalizar, por lo que si se deja el tiempo suficiente, queda inutilizada. Es un proceso de difícil reversión. Este problema también es resuelto por las baterías de NiMH [27]

Las baterías de Ni-Cd presentan varias ventajas respecto a las de plomo [28]:

- Aguantan procesos de congelación y descongelación sin ningún efecto sobre el comportamiento.
- Aceptan un gran rango de temperaturas de  $-40^{\circ}\text{C}$  a  $50^{\circ}\text{C}$ .
- Les afectan menos las sobrecargas.
- Pueden descargarse totalmente sin sufrir daños.
- Su nivel de mantenimiento es mucho menor.
- Poseen una vida más larga.

Con todo esto, lógicamente, el precio de estas baterías es mucho más elevado.

En la Figura 3.13 consta de una batería de Ni-Cd, con una definición de sus principales componentes



**Figura 3.13: Ejemplo batería Ni-Cd [28]**

También son muy utilizadas las baterías de Ion-Litio, sin embargo, su uso es aparatos electrónicos como móviles, e-books y ordenadores portátiles. Debido a esto, no se van a considerar en este proyecto.

## 4. Descripción de las Instalaciones.

El objetivo del presente TFG es realizar la acometida de energía eléctrica desde una Subestación de Tracción hasta una Base de Mantenimiento situada a 7.200 metros, con la premisa de que este suministro de energía sea fiable y presente una disponibilidad elevada.

Durante la etapa de redacción del Trabajo Fin de Grado, la Base de Mantenimiento fue un enclave destinado a los trabajos de montaje de vía durante la construcción de la Líneas de Alta Velocidad y la distribución de energía eléctrica se realizaba desde el grupo electrógeno hasta un cuadro de distribución trifásico situado en el interior del taller de soldadura. Para alimentar las cargas trifásicas, se tomaban tres fases y para alimentar las cargas monofásicas se tomaba una fase y el neutro, equilibrando lo más posible las tres fases.

El objetivo del presente proyecto es cambiar dicha fuente de alimentación por otra más fiable: la Subestación Eléctrica de Tracción.

Para ello, y puesto que lo que se está planteando es una distribución de energía eléctrica en tendido subterráneo desde la Subestación de Tracción hasta la Base de Mantenimiento, se ha considerado conveniente que esta distribución se realice a 25 kV ca, consiguiendo de este modo que las secciones de los cables sean pequeñas.

Por tanto, el sistema se compone fundamentalmente por Figura 4.1:

- Transporte de los 25 kV ca monofásicos en zanja desde la Subestación de Tracción hasta la Base de Mantenimiento.
- Transformación de los 25 kV ca monofásicos en 400 V ca trifásicos más neutro para distribuirlos a los equipos e instalaciones situados en la Base de Mantenimiento.



**Figura 4.1: Diagrama de bloques fundamental del sistema**

Como punto de suministro se ha escogido una Subestación de Tracción que está situada a unos 7.200 metros de distancia de la Base de Mantenimiento.

El tendido de la línea será subterráneo. Los cables irán enterrados en zanja durante aproximadamente 6.400 metros e irán en canalización hormigonada durante 800 m.

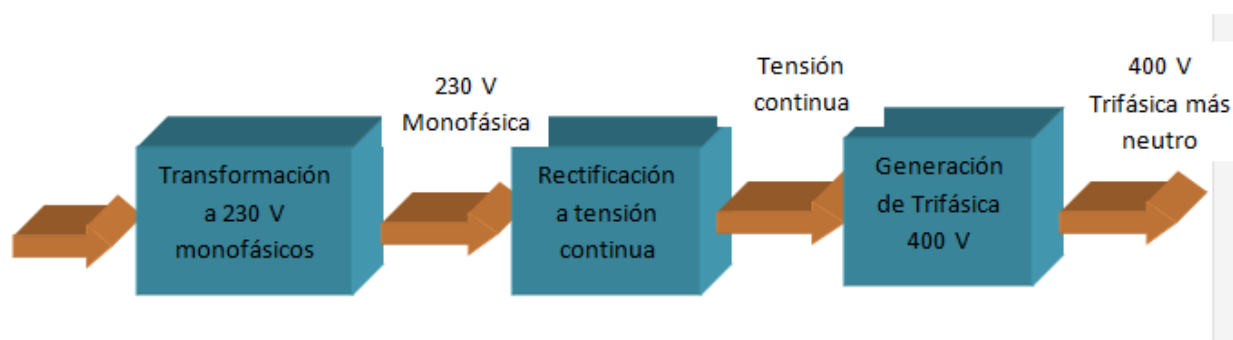
Se tendrá en cuenta, a la hora de realizar las canalizaciones, que se dejan 3 tubos libres debido a que en un futuro se podría alimentar la Base de Mantenimiento con una línea trifásica local de media tensión.

En las proximidades de la Base de Mantenimiento pasaremos de zanja a canalización hormigonada e iremos bajo canalización hormigonada hasta la caseta de transformación.

Es en dicha caseta en donde se va a realizar la transformación de tensión desde 25 kV ca monofásicos hasta 400 V ca trifásicos más neutro, tal y como se muestra en la Figura 4.2:

En el interior de la caseta prefabricada se montarán los siguientes equipos:

- Celdas de entrada de 36 kV
- Transformador de 25 kV / 230 V y 400 kVA.
- Equipo Rectificador + Ondulador + Baterías + Conmutador de línea
- Cuadros de protección de 230 V ca monofásicos y de 400 V ca trifásicos.

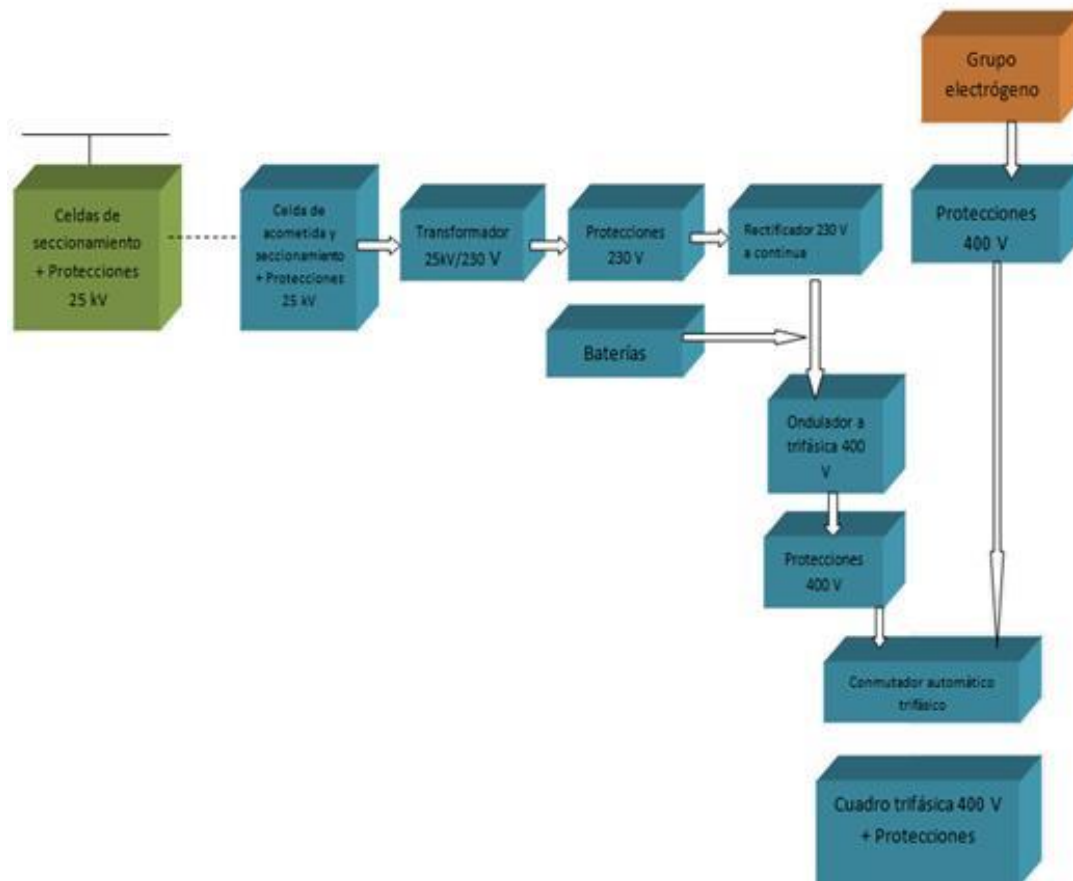


**Figura 4.2: Proceso de generación de tensión trifásica**

Las baterías se instalarán para evitar que los equipos que dependen de dicha alimentación pasen por cero antes de que entre en funcionamiento el grupo electrógeno de la Base.

Tanto la salida del grupo electrógeno como la salida del equipo rectificador-ondulador serán de tres fases más neutro. De esta manera también podremos alimentar con tensión monofásica a 230 V ca.

En la Figura 4.3 se muestra el diagrama de bloques general del sistema de generación.



**Figura 4.3: Diagrama de bloques del sistema**

A continuación se describe el equipo rectificador-ondulador que transforma la tensión hasta los 400 V ca trifásicos requeridos.

Es un Sistema de Alimentación Ininterrumpida para garantizar una alimentación sin interrupción a las cargas críticas.

El principal objetivo del sistema propuesto es utilizar la Subestación de Tracción como fuente de energía principal y segura y usar la energía de la batería y del grupo electrógeno sólo en caso de emergencia.

Esta configuración obtendrá una razonable reducción de coste de energía en la mayoría de las aplicaciones puesto que la subestación es una de las fuentes de alimentación más fiables.

El diseño modular del sistema proporciona flexibilidad tanto al fabricante como al usuario final durante el periodo de funcionamiento. Es posible instalar en una primera etapa la potencia necesaria en ese momento e incrementar ésta si la instalación lo requiriese en un futuro.

El Sistema de Alimentación Ininterrumpida consiste en:

- Varios módulos SAI's digitales con una potencia total de al menos 400 kVA.
- Batería de plomo, instalada sobre bancada.

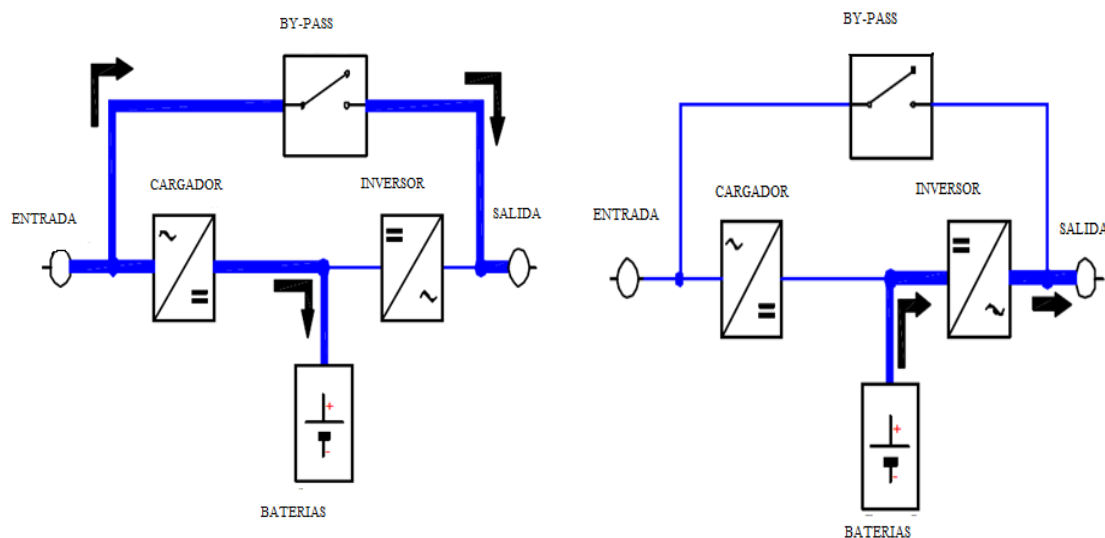
- Varios sistemas rectificador /cargador de tracción que se conectan a la alimentación principal de 25 kV. Cada sistema rectificador /cargador de tracción está compuesto por módulos conectados en paralelo, consiguiendo la potencia total necesaria.

Los sistemas rectificadores /cargadores estarán equipados con filtros de entrada y absorbedores de picos de tensión. Estas protecciones estarán diseñadas para contrarrestar todas las sobretensiones y perturbaciones de alta frecuencia conocidas consiguiendo una tensión de CC de calidad para la batería e inversor asociado.

La acometida de energía eléctrica a la Base de Mantenimiento, no es un sistema redundante. La única alimentación que tiene es monofásica a 25 kV desde la Subestación. En caso de que la Subestación de Tracción fallase, los equipos e instalaciones de la Base de Mantenimiento serían alimentados por el grupo electrógeno. Para que dichos equipos no pasen por cero, unas baterías mantendrían dicha alimentación hasta que el grupo electrógeno arrancase y estabilizase su tensión de alimentación.

En el modo de operación normal, las cargas son alimentadas desde la alimentación principal al sistema rectificador /cargador e inversor. La batería permanecerá cargada gracias a los rectificadores /cargadores modulares en espera de un fallo de la alimentación principal. Los rectificadores de los SAI's conectados al grupo electrógeno permanecerán en modo "stand by" activo, al igual que los bypasses estáticos.

En caso de que la fuente de alimentación principal o el sistema rectificador /cargador modular falle, las cargas serán alimentadas automáticamente y sin paso por cero por los rectificadores de los SAI's conectados al grupo electrógeno. Estos últimos rectificadores también mantendrán cargada la batería. En el caso de que el grupo electrógeno o los rectificadores a él conectados fallen, será la batería quien se haga cargo de alimentar las cargas sin interrupción.



**Figura 4.4: Modos de funcionamiento del SAI [13]**

La fuente de alimentación que se recupere en primer lugar será la encargada del suministro de potencia a las cargas, reiniciando también la recarga de la batería. En caso de fallo de los inversores y siempre y cuando el



grupo electrógeno esté disponible, las cargas serán alimentadas y sin paso por cero por los bypasses estáticos del sistema SAI.

El sistema se completa con un bypass manual o de mantenimiento, el cual será el encargado de alimentar las cargas sin interrupción a través del grupo electrógeno (si éste se encuentra operativo) en el supuesto de que los bypasses estáticos se encuentren averiados o se requieran labores de mantenimiento en el sistema SAI.

## **4.1. Arquetas de registro**

Entre la Subestación de Tracción y la Base de Mantenimiento, llevaremos a cabo la construcción de arquetas prefabricadas. Estas se colocaran en cada cambio de dirección y con una separación de 200 metros.

En dichas arquetas tendremos coca, cable adicional en forma de espira. Con esto conseguimos que, en caso de avería, la podamos solucionar de una manera mucho más rápida y eficaz, sin tener que abrir zanja.

En la actualidad, la salida del grupo electrógeno, cruza la carretera interior de la Base de Mantenimiento a través de una canalización subterránea, para acometer a los cuadros de baja tensión situados en el interior de la nave de soldadura. En dicha canalización hay un par de arquetas que vamos a unir a las nuevas arquetas a montar para realizar la entrada y la salida de los cables a la nueva caseta. Una vez que entran los cables del grupo electrógeno a la caseta se conectan al sistema rectificador-inversor quedando como alimentación secundaria. Hay que montar un interruptor para proteger la línea.

La salida del sistema se realizará por otra arqueta y se conducirá a través de una nueva canalización hormigonada, que atravesará la carretera, hasta la antigua arqueta de entrada al taller de soldadura.

Posteriormente se realizará la acometida al cuadro de baja tensión situado en el taller de soldadura de la Base de Mantenimiento.

Una vez realizados los cruces de la carretera interior de la Base de Mantenimiento, se repondrá la calzada.

Además instalaremos hitos de señalización, para conocer el trazado de la línea subterránea, localizando su ubicación y evitando posibles averías por trabajos realizados por terceros.

## **4.2. Celdas de maniobra y protección**

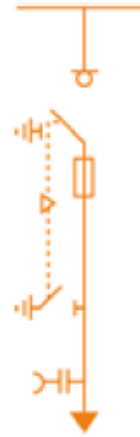
### ***4.2.1. Subestación de Tracción.***

La Subestación de Tracción dispone de dos celdas de remonte que se conectan a cada una de las calles de la subestación en media tensión y otras dos celdas de maniobra y protección que se conectan con los dos transformadores de Servicios Auxiliares.

En la Figura 4.5 se muestra el esquema sinóptico de las celdas existentes en la Subestación de Tracción, provistas de un juego de barras aisladas al aire de 36 kV.



a) Celda de remonte



b) Celda de maniobra y protección.

**Figura 4.5: Esquema sinóptico de la celdas de 36 kV de la Subestación de Tracción. [29]**

Los seccionadores serán de tipo rotativo de tres posiciones: abierto, cerrado y puesta a tierra. No permitirán la conexión de puesta a tierra sin haber abierto, previamente, el interruptor correspondiente. [8]

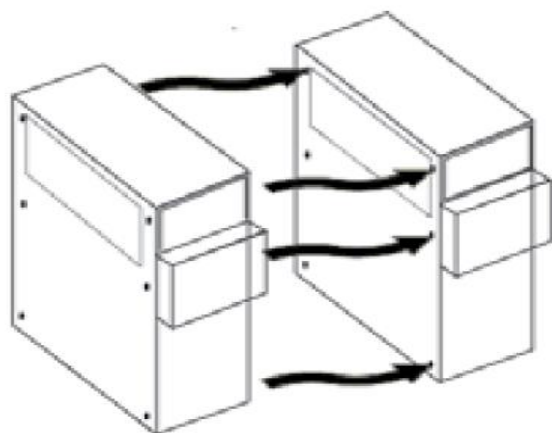
Las características principales de las celdas de remonte son:

- Seccionador
- Contactos auxiliares en el seccionador de barras
- Carro para desplazamiento de celda
- Enclavamiento mecánico E12

Las características principales de las celdas de maniobra y protección son:

- Interruptor seccionador.
- Seccionador de puesta a tierra superior con poder de cierre.
- Timonería de disparo por fusión fusible
- Contactos auxiliares en el interruptor seccionador.
- Seccionador de puesta a tierra inferior sin poder de cierre.
- Carro para desplazamiento de celda
- Enclavamiento de tensión C1

Las celdas instaladas son de ampliación sencilla, con la inserción de nuevos módulos, como observamos en la Figura 4.6:



**Figura 4.6: Ampliación de celdas de protección [29]**

Para realizar conexión de la acometida eléctrica a la Base de Mantenimiento desde la Subestación de Tracción, se va intercalar una nueva celda de protección de 36 kV, similar a la que protege al transformador de Servicios Auxiliares. En la Figura 4.7 se muestra el esquema sinóptico de la celda protección de la línea eléctrica subterránea.



**Figura 4.7: Esquema sinóptico de nueva celda de protección ubicada en Subestación de Tracción [29]**

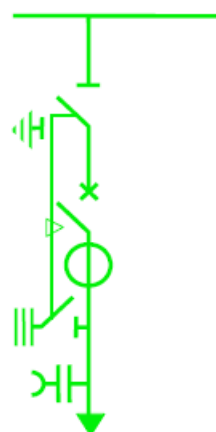
La línea subterránea de 7.200 metros llega a una caseta prefabricada situada en la Base de Mantenimiento y se conecta con una celda de remonte de 36 kV de iguales características a las utilizadas en la Subestación de Tracción para la alimentación de los Servicios Auxiliares cuyo esquema sinóptico se muestra en la Figura 4.8

A este módulo, se ensambla una celda de protección que dispone de seccionador de puesta a tierra e interruptor automático, para poder realizar maniobras, sin necesidad de comprobar el corte en la subestación.

La posición de puesta a tierra del seccionador no estará permitida sin haber comprobado la ausencia de tensión en la entrada a la cabina.



a) Celda de remonte



b) Celda de maniobra y protección.

**Figura 4.8: Esquema sinóptico de nuevas celdas de protección ubicadas en la Base de Mantenimiento [29]**

Esta celda de protección tiene características muy similares a la celda instalada en la Subestación de Tracción, pero además posee el interruptor automático. Las características principales de esta celda son:

- Interruptor automático.
- Seccionador de operación sin carga.
- Tres transformadores de corriente.
- Bornes para conexión inferior de cable seco unipolar.
- Mando seccionador manual
- Seccionador de puesta a tierra
- Indicador de presencia de tensión
- Enclavamiento por cerradura

### **4.3. Sistema de control de Subestaciones**

El sistema de control de las subestaciones es una gran ayuda para el funcionamiento de la red eléctrica y su mantenimiento. Actualmente, se usan importantes sistemas de control, los cuales permiten recoger toda la información de documentos, eventos, historiales de subestación y diagnósticos permitiendo una optimización del sistema. Toda esta automatización aumenta rigurosamente la seguridad de las instalaciones, usuarios y personal

El sistema de mando de control es un sistema modular diseñado para la comunicación y control de cada parte de las subestaciones, facilitando las interacciones necesarias entre los diferentes paneles de una subestación. Estos equipos están automatizados mediante el uso de PLC's, siguiendo con los protocolos de PROFINET Y PROFIBUS.

Las funciones principales del sistema de control son:

- Supervisión de la subestación: representación gráfica de los valores medidos, posiciones de disyuntores, gestión de las alarmas y perturbaciones.
- Mando: mando de todos los dispositivos motorizados tales como apertura y cierre de seccionadores de línea, interruptores o conmutador del seccionador de puesta a tierra
- Parametrización: ajuste de los parámetros de todos los relés de protección.
- Control: Posibilidad de definir secuencias de control especiales

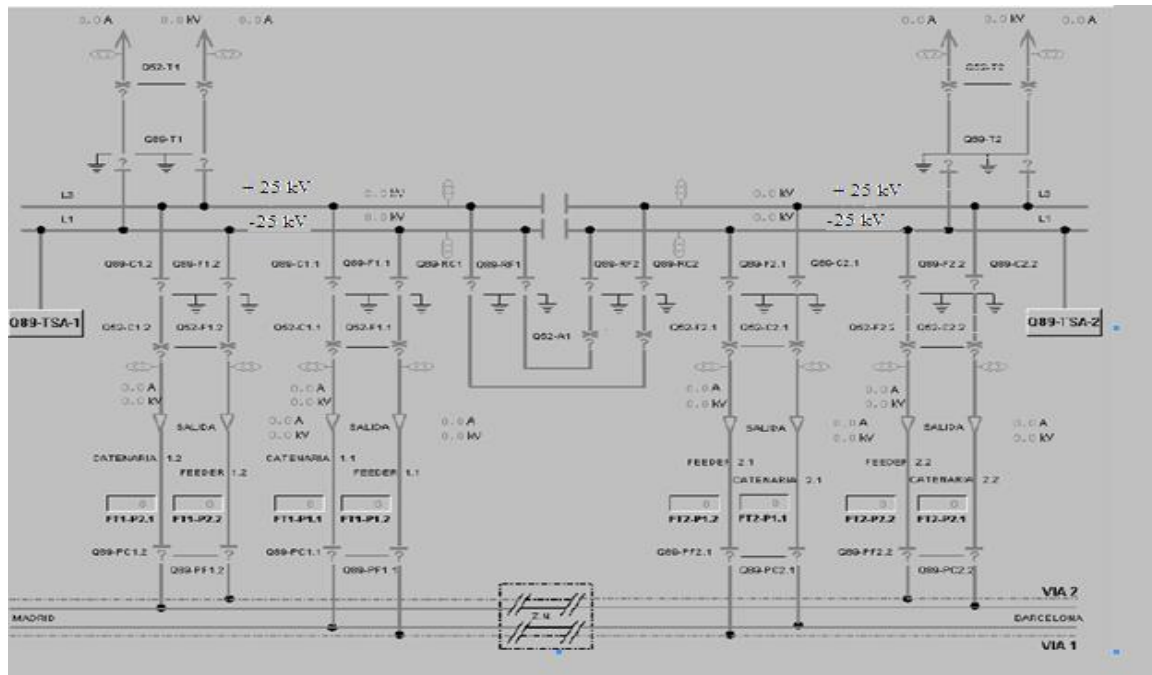
El Sistema de Control se basa en un conjunto de unidades independientes, que pueden funcionar independiente o conjuntamente conectadas entre sí, mediante un bus de comunicación. La distribución de estas unidades y sus conexiones, se realiza por áreas denominadas "bahías". Estas bahías dependiendo de la subestación, son distintas, tales como salidas de los feeder, transformador de servicios auxiliares, Base de Mantenimiento, transformador principal, etc. [30]

El sistema de mando de control se compone generalmente de los siguientes equipos:

- Un PLC industrial que actúa como núcleo del sistema, controlando y gobernando todos los equipos.
- Un sistema local, compuesto por un PC de calidad industrial capaz de trabajar en las duras condiciones de la subestación.

- El PC se comunica a través de buses industriales mediante los controladores.
- Módulos digitales y analógicos, que controlan los diferentes equipos mediante cableado cuando sea necesario.
- Conmutador Ethernet.
- Fibra óptica.

Con este sistema, la subestación se representa mediante un diagrama unifilar, como se ve en la figura 4.9:



**Figura 4.9: Esquema unifilar de una subestación para su telemando [4]**

En el diagrama unifilar se pueden visualizar los datos analógicos medidos, líneas que se encuentran bajo tensión, visualización del estado de las comunicaciones entre la interfaz hombre-máquina y los diferentes PLC.

Además se pueden configurar o modificar los distintos parámetros de las celdas con una configuración avanzada:

El mando de la subestación puede estar en la propia subestación (mando local) o bien en el centro de Telemando correspondiente. Cuando el Mando está en Local, solo se permiten accesos desde el frente de celdas y no tendrán efectos los telemandos desde el Centro de Telemando correspondiente.

En el proyecto presente, el control distribuido constará de una serie de Unidades de Control aplicadas a las celdas de maniobra donde serán conectas las líneas eléctricas, así como a los equipos que integran las casetas prefabricadas. Dichas Unidades de Control estarán realizadas con autómatas programables capaces de funcionar y realizar tareas programables entre ellos, estarán unidos entre sí por medio de un bus de comunicaciones.



**Figura 4.10: Diseño de sistema de protección y control**

Cada PLC leerá y analizará la información de los órganos que control, tomando las acciones propias que sean necesarias y transmitiendo esa información, mediante el Bus de Comunicaciones al resto de PLCs que corresponda.

El control de los autómatas se podrá realizar desde los pulsadores situados en las celdas pero también es posible el control por medio de un Puesto de Control Local basado en un PC.[31]

Para integrar el telemando en el proyecto será necesario ampliar el Puesto de Central de Telemando correspondiente, siendo necesario incluir en el telemando las informaciones correspondientes al estado de apertura o cierre del seccionador y presencia de tensión aguas abajo del fusible, correspondiente a la alimentación de la Base de Mantenimiento.

Además de la instalación de los equipos anteriores, es necesario la actualización del Puesto Central de Telemando. Se considerará también todo el cableado necesario para dichas instalaciones.

Para concluir, para el correcto funcionamiento del puesto de telemando habrá que realizar una actualización de Software del sistema.

## 4.4. Líneas eléctricas

En este capítulo, describimos las diferentes líneas eléctricas diseñadas para el suministro de energía a los equipos que componen el proyecto que nos ocupa

Las líneas eléctricas que forman dicho proyecto, están constituidas por cables aislados para soportar diferentes niveles de tensión, tanto en media tensión como en baja tensión

#### ***4.4.1. Línea eléctrica de Alta Tensión***

Esta línea, con una longitud de 7.200 metros, será la encargada del transporte de los 25 kV ca monofásicos en zanja desde la Subestación de Tracción, hasta el centro de transformación situado en la Base de Mantenimiento, que dispondrá de un interruptor automático motorizado en la caseta de la base para protección de la acometida.

La tensión de cortocircuito del transformador ubicado en la subestación es del 4 %, la potencia de estos transformadores es de 60 MVA

Para el dimensionamiento de esta línea se realiza considerando el caso más desfavorable de los siguientes:

- Intensidad máxima admisible por el cable en servicio permanente.
- Intensidad máxima admisible en cortocircuito en un tiempo determinado.
- Caída de tensión.

Dicha línea partirá desde la Subestación de Tracción mediante una celda aislada en aire con rupto-fusible e interruptor seccionador de 36 KV. De aquí saldrá el cable calculado de aluminio aislado XLPE de  $1 \times 150 \text{ mm}^2$  y otro cable del armario barra cero de la subestación, en canalización durante las proximidades de la subestación. Estos cables llegarán subterráneos hasta el transformador de 400 KVA, situado en la caseta prefabricada de la Base de Mantenimiento.

El armario barra cero de la subestación anteriormente mencionado, es el punto de la subestación donde se conecta la red de tierras de la subestación con la toma central de los transformadores de potencia y el carril de la vía de Alta Velocidad.

#### ***4.4.2. Línea eléctrica 230 V***

Tras la transformación de los 25 kV en los 230 V, se calcula la intensidad nominal que circulará. Debido a las características especiales de esta instalación, en el secundario del transformador vamos a tener una intensidad muy elevada. Para esta intensidad, la línea calculada requiere 4 conductores de  $300 \text{ mm}^2$ /fase con un material de cobre y aislamiento de XLPE. Esta línea tendrá una longitud aproximada de 30 metros.

#### ***4.4.3. Línea eléctrica de 400 V***

Tras la transformación de los 25 kV en 220 V, tendremos los equipos rectificadores-inversores, llegando a unos niveles de 400 V trifásicos. Dicha línea tendrá una longitud de 300 m y estará compuesta por 5 conductores  $300 \text{ mm}^2$ /fase de cobre.

Dicha línea será la encargada del transporte de los 400 V trifásicos desde los equipos rectificadores hasta el Cuadro General de Baja Tensión existente.

## 4.5. Casetas prefabricadas

La instalación va a constar de dos casetas prefabricadas, con las dimensiones y características determinadas para el alojamiento de los distintos equipos eléctricos para la alimentación de los distintos equipos. Dichas casetas prefabricadas irán alojadas junto a la Base de Mantenimiento.

Las dimensiones de cada caseta serán de 11,96 x 2,62 x 3,6 m.

En la caseta nº 1, se instala el siguiente equipamiento:

- Celda de entrada 25 kV
- Celda de protección y maniobra
- Transformador 25 kV/220 V
- Sistema de Alimentación i
- Ininterrumpida (SAI)

En la caseta nº 2, se alojan el conjunto de baterías

### 4.5.1. Transformador 25kV/230 V

El transformador de potencia previsto, se trata de un transformador de tipo seco con encapsulado en vacío de resina epoxi. La elección de un transformador en seco es debido a que estos son más adecuados para instalaciones interiores cuyas cargas se encuentran cerca del punto de consumo. Además, los transformadores en seco son más seguros que los transformadores en aceite, al reducirse el riesgo de fugas de aceite, incendios o explosiones.

La resina, además de aislar los arrollamientos, los une entre sí, por lo que el equipo soporta los esfuerzos electromecánicos producidos durante un cortocircuito mucho mejor que los transformadores de aceite

Otra ventaja de los transformadores en seco es que necesitan un mantenimiento mucho menor para conservarse en buenas condiciones. [16]

**Tabla 4.1: Características principales del transformador 25kV/230 V [32]**

Grupo de conexión	Yyn11	[-]
Potencia	400	[kVA]
Arrollamiento AT	25 entre fases	[kV]
Arrollamiento BT	420 entre fases	[kV]
Tensión más elevada para el material AT	36	[kV]
Tensión más elevada para el material BT	1,1	[kV]
Tensión porcentual de cortocircuito	4%	[-]



Para la protección de la alimentación al transformador de la Base de Mantenimiento, se ha instalado un fusible de media tensión con contacto por fusión para dar señal a la alarma.

Para un tiempo de 0,5 s, escogemos un fusible de 25 A.

Con esto el transformador, está protegido con un ruptofusible cuyo fusible es de 25 A. Con este fusible, se protege adecuadamente al transformador para faltas en el lado de baja Tensión y también para faltas en su devanado primario, o en la conexión de este al cable alimentador, en el que el fusible de 25 A actuará en limitación en menos de 0,5 s minimizando daños en el propio transformador de 400 KVA.

Con objeto que el fusible de 25 A coordine con los interruptores de salidas de 230 V, instalamos interruptores limitadores en las salidas del cuadro monofásico de baja Tensión.

Por último, habrá que disponer en el transformador sondas térmicas para la detección de su temperatura, saltando la alarma a un nivel de temperatura y disparando el transformador a un nivel más alto. Estos valores de temperaturas han de ser facilitados por el fabricante.

## ***4.5.2. Sistema de alimentación ininterrumpido (SAI)***

### **4.5.2.1. Grupo electrógeno**

Un grupo electrógeno es una máquina que mueve un generador eléctrico a través de un motor de combustión interna, transformando la energía mecánica en energía eléctrica. Los grupos eléctricos son imprescindibles en instalaciones que requieren un suministro eléctrico continuo.

Un grupo electrógeno se compone fundamentalmente de:

- Motor de combustión: en el proyecto actual utilizamos motores diesel debido a su menor consumo de combustible, además de su eficiencia y reducción de emisiones de CO<sub>2</sub>.
- Sistemas auxiliares del motor: gracias a un sistema de regulación electrónico de velocidad, nos permite girar a velocidad constante manteniendo la frecuencia de la red que depende de él. También existen sistemas que nos permiten regular los distintos componentes como el aceite, líquido refrigerante, etc.
- Sistema de arranque: el motor de combustión arranca debido a un motor eléctrico más pequeño que lo arrastra. Este motor eléctrico se mueve usando un sistema de baterías que se recarga gracias al alternador.
- Sistema de ventilación: la refrigeración del motor se realiza mediante aceite que lubrica y extrae el calor a un sistema de agua que recorre el motor. Este calor se expulsa al exterior mediante un ventilador que se acciona por el movimiento del motor.
- 
- Alternador: nos permite la conversión de energía mecánica en energía eléctrica. El alternador es una máquina eléctrica síncrona de 4 polos, autoexcitado, sin escobillas. El alternador será autorregulable electrónicamente con una tensión constante de  $\pm 5\%$ , se conectará en estrella.
- Acoplamiento: es la unión entre motor y alternador. En nuestro caso consiste en un acoplamiento mediante monopalier directo con discos de acero flexible.[16]

En la actualidad, las instalaciones constan de un grupo electrógeno de 400 KVA, compuesto por un motor diesel, debido a su menor consumo y emisiones de CO<sub>2</sub>. Este grupo electrógeno se mantiene como sistema de suministro auxiliar.

El grupo existente presenta características que se muestran en la Tabla 4.2 son:

**Tabla 4.2: Características principales de grupo electrógeno [33]**

SERVICIO		PRP	STANDBY
Potencia aparente	kVA	400	450
Potencia	kW	320	360
Régimen de funcionamiento	r.p.m.	1500	
Tensión Estándar	V	400	
Tensiones disponibles	V	230-230/132-400/230 V	
Factor de potencia	Cos phi	0,8	
DATOS GENERADOR SÍNCRONO			
Polos	Nº	4	
Tipo de conexión (estándar)		Estrella-Serie	
Grado de protección mecánica (según IEC-34-5)		IP23	
Sistema de excitación		Autoexcitado, sin escobillas	
Sistema de Combustible			
Tipo de combustible		Diesel	
Depósito de combustible	L	2090	

#### 4.5.2.2. Sistema de Alimentación Ininterrumpida (SAI)

En este proyecto es necesario un SAI que asegure la continuidad de suministro de una buena calidad de energía, trabajando paralelamente con el grupo electrógeno, a una potencia de 400KVA. Debido a que la criticidad de las cargas no es muy alta, se optará por una configuración de modelo único, tal y como vimos en el capítulo 3.

Este equipo va a ser el encargado de proporcionarnos la potencia necesaria a 400 V. Es un sistema modular, es decir, puede aumentarse la potencia global del sistema añadiendo módulos rectificadores/inversores. El conjunto de baterías a suministrar tiene una autonomía de 10 minutos.

Nuestro SAI consiste en:

- Varios módulos SAI's con una potencia total mínima de 400 KVA.
- Conjunto de baterías de Plomo con una autonomía de 10 minutos
- Sistemas rectificador/cargador de tracción que se conectan a la alimentación principal de 25 kV. Cada sistema rectificador/cargador está compuesto por módulos conectados en paralelo, consiguiendo la potencia total deseada. Dichos sistemas estarán equipados con filtros de entrada y absorbedores de picos de tensión.

La acometida de energía eléctrica a la Base de Mantenimiento no es un sistema redundante. La única alimentación que tiene es monofásica a 25 kV desde la subestación. En caso de fallo de la subestación, los equipos e instalaciones de la Base de Mantenimiento serán alimentados por el grupo electrógeno. Para que estos equipos no pasen por cero, unas baterías mantendrán dicha instalación hasta que el grupo electrógeno estabilice su tensión de alimentación.

A la hora de elegir el Sistema de Alimentación Ininterrumpido, se han barajado varias alternativas, proporcionadas por fabricantes, (ZIGOR, SAFT, EMERSON, etc).

Las características principales del SAI que se ha seleccionado se muestran en la Tabla 4.3.

**Tabla 4.3: Características principales del SAI [13]**

ESPECIFICACIONES GENERALES	
Rendimiento total	>99% en cualquier condición de carga
Sobrecarga	120% régimen permanente
By-pass de mantenimiento	Sí
Grupo Electrónico	Sí
Regulación del voltaje de salida con carga entre 0 y 100%	1%
Potencia de salida nominal, factor de potencia=1	200kW x Número de inversores
Ensayo de aislamiento para 60 segundos	2,5 kV
Protección de la carcasa	IP20
Temperatura ambiente de funcionamiento	0-40°C
Temperatura ambiente de almacenamiento	0-85°C
Humedad relativa permitida	0-85% (excluyendo la batería)
ENTRADA	
Rango de tensión admisible (Trifásico)	304 -456 Vca
Frecuencia admisible	50/60 Hz

Distorsión armónica	No introduce distorsión armónica
<b>SALIDA</b>	
Rango de tensión admisible	304-456 Vca
Frecuencia admisible	50/60 Hz
Distorsión armónica	No introduce distorsión armónica
<b>CARGADOR</b>	
Redundancia	N+1
<b>BATERIAS</b>	
Tipo de baterías	Pb o NiCd
Autonomía	15 minutos estándar
Monitor de Elementos	Detección de inversión de polaridad por monobloque
<b>INVERSORES</b>	
Tensión de salida	380 Vca $\pm$ 1%
Frecuencia	50/60 Hz $\pm$ 5%
THD	<1,5%
Desplazamiento de fase con carga equilibrada	<1%
Desplazamiento de fase con 100% de carga desequilibrada	<1%
Tolerancia de voltaje en estático con carga balanceada	<1%
Tolerancia de voltaje en estático con carga no balanceada	<1%
Tolerancia en voltaje en dinámico con escalón de carga de 50 %	<3%
Tolerancia de voltaje en dinámico con escalón de carga del 100%	<3%
Corriente de cortocircuito	1,2xIn
Rango de frecuencia máxima para sincronización del inversor con la red eléctrica	2Hz

Variación máxima de la frecuencia durante la sincronización	1Hz
Potencia activa	200
BY-PASS	
Redundancia activa	N + 1
Sobrecarga	120%
PROTECCIONES	
Impulsos de Tensión	No degradable. Umbral de actuación VN x 1,1 Energía>900 Julios
Contra cortocircuito	Si
Limitación de corriente	Si
Sobrecarga	Si
By-pass manual y estático	Si
Frecuencia 50/60 Hz	Si
Filtro RFI	Si
Protección del cargador de batería	Si
Desconexiones necesarias	Si
DATOS ADICIONALES	
Compatibilidad electromagnética	Cumple la norma 89/336/CEE-937687 CEE
Compatibilidad	Según normas UNE-EN-50081-2, UNE-EN-50082-2
Emisión e inmunidad	Según norma IEC 1000-4-5

- **Filtro armónico:**

El Filtro Armónico tiene como finalidad atenuar las componentes armónicas en la red de alimentación. Su principio de funcionamiento consiste en derivar las componentes armónicas generadas por una determinada carga hacia el filtro y mantener limpia la red al consumidor. Todo filtro supone una impedancia de inserción en la línea que generará una diferencia de tensión entre entrada y salida, función de la corriente consumida.

El equipo dispone de un sistema de retardo a la conexión para evitar los transitorios que se pueden generar en la conexión de las líneas de acometida. [8]

En la Figura 4.11 se muestra la tensión de salida que se obtiene ante una Tensión de entrada, procedente de la red, con gran contenido armónico:

Estos filtros armónicos se componen de módulos de 225 KVA, por lo que tenemos que conectar dos en paralelo para conseguir dar servicio a la potencia de 400 KVA.

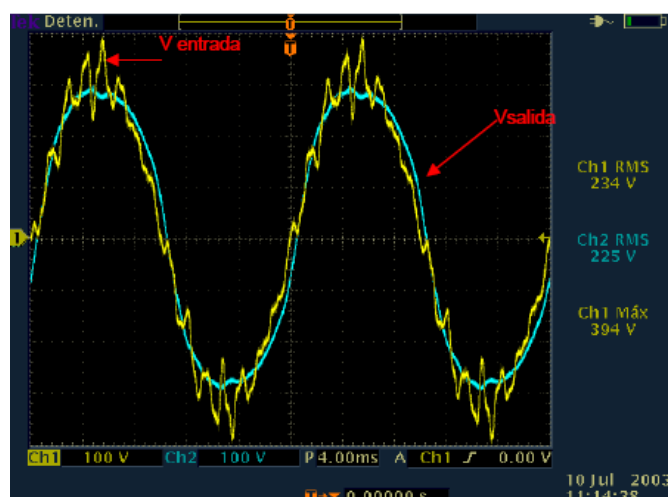


Figura 4.11: Ejemplo de respuesta de filtro ante gran contenido armónico [8]

- **Sistema de Eliminación de Perturbaciones Eléctricas**

El Sistema de Eliminación de Perturbación ha sido diseñado para eliminar y asegurar la continuidad de suministro de energía de procesos industriales donde la fiabilidad es fundamental

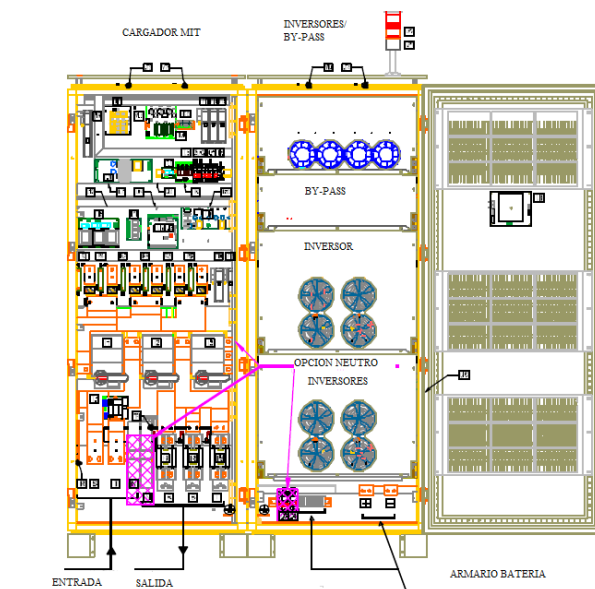


Figura 4.12: Sistema de Eliminación de Perturbaciones Eléctricas 400 KVA [13]

Sistema de eliminación de perturbaciones eléctricas, cortas, sobretensiones, interrupciones de alimentación breves y rellena huecos de tensión en procesos industriales críticos y de control, con alto rendimiento energético.

La carga conectada a este sistema está protegida de toda perturbación de red (variación de tensión y frecuencia, huecos, sobretensiones, etc.). En caso de fallo de red o falta de alimentación, las baterías garantizarán el suministro de una potencia regulada a la utilización. [13]

Funcionalmente, el sistema de Eliminación de Perturbaciones Eléctricas se compone de los siguientes subsistemas [13]:

- Cargador de baterías: se encarga de la gestión de la batería permitiéndonos trabajar a unos niveles de tensión de salida apropiados para el inversor. Es un cargador trifásico de baterías a partir de la alimentación de red. Está compuesto por un rectificador trifásico de tecnología convencional controlado en modo corriente, con limitación de corriente de carga de batería. El control del rectificador y la gestión del equipo se realiza íntegramente por microprocesador

A partir del momento en el que el equipo se queda fuera de servicio, se prevé una autonomía máxima de 3 minutos en emergencia.

El cargador posee dos modos de funcionamiento:

- Régimen de flotación

Es el régimen de funcionamiento normal cuando la batería está cargada. Se le proporciona a la batería una pequeña corriente que sirve para mantenerla cargada y evitar su auto descarga.

- Régimen de carga rápida

Este régimen nos permite restablecer la plena carga de la batería. En las baterías de plomo tiene un carácter de mantenimiento. No se recomienda su actuación más de dos veces al año.

- BYPASS: En el bypass se pueden distinguir dos subconjuntos, uno es el bypass estático propiamente dicho y otra parte sería el sistema de precarga.

Además el sistema dispone de un bypass manual que permite valores de puesta en marcha y mantenimiento sin afectar al usuario, pudiendo:

- Aislar al Sistema de Eliminación de Perturbaciones de entrada y salida, para reparaciones y sustituciones.
  - Alimentar al Sistema de Eliminación de Perturbaciones sin conexión con la salida, para puesta en marcha del equipo
  - Conectar entrada y salida, para averías del sistema.
- Inversor: es un sistema modular trifásico de 100 ó 200 KVA, este módulo tiene integrado la potencia y su control electrónico. La estructura de potencia se integra con control que es el encargado de que pueda funcionar con una excelente fiabilidad.

El módulo tiene un sistema de ventilación forzada que se activa cuando lo hace el módulo, el aire filtrado se desplaza por el interior del módulo, pasa a través de las bobinas de potencia, enfría el radiador y sale por la parte trasera del módulo.

El sistema analiza continuamente la señal de entrada a red, en el momento en el que el sistema de control detecta una perturbación de la señal trifásica de entrada, se envía una orden de parada al bypass estático y una orden de puesta en marcha de los inversores. En este momento los inversores tomarán como tensión de entrada la tensión continua de la batería y generarán una señal trifásica. Esta conmutación asegura unos tiempos menores de 4 milisegundos, por lo tanto, el suministro queda garantizado.

#### 4.5.2.2.1. Baterías

Las baterías de plomo seleccionadas irán alojadas en una de las casetas, y su dimensionamiento no es objeto de este proyecto.

El modo de uso, la duración y la intensidad de las descargas y recargas influyen en la vida de las baterías, las pueden envejecer, incluso dañar. Para obviar estos fenómenos, los SAI modernos siguen sofisticados algoritmos de gestión de las baterías que optimizan su uso controlado. Todo esto nos permite prolongar la vida de las baterías, además de reducir los consumos [12].

La norma UNE 20460 impone, para todos los locales una ventilación natural o forzada que aporte, por lo menos, un volumen de aire nuevo de 0,05 veces el número de elemento multiplicado por la máxima intensidad del cargador de baterías. Por esto, las baterías irán dentro de la caseta prefabricada [9]

De acuerdo con ITC-BT 30 quedará 0,5 metros entre los laterales del equipo y las paredes y 1,10 metros en el frente para tareas de mantenimiento y sustitución de baterías

### 4.5.3. Cuadro BT y protecciones

La instalación actual del Cuadro General de Baja Tensión, se puede observar en el Plano 6.1.3. A continuación se especifica en la siguiente tabla las distintas cargas y sus dimensionamientos actuales:

**Tabla 4.4: Situación actual de cuadro de baja tensión**

Nº circuito	Carga	Intensidad [A]	Longitud	Sección [mm <sup>2</sup> ]
1	Mesa-rodillos	57	100	25
2	Cepilladora	80	100	35
3	Rodillos	25	90	6
4	Periféricos	146	50	70



Nº circuito	Carga	Intensidad [A]	Longitud	Sección [mm <sup>2</sup> ]
5	Sierra-rodillo	42	100	16
6	Enfriamiento	15	160	6
7	Prensa-rodillo	68	200	35
8	Esmerilado	40	240	25
9	Puesto mando	17	240	10
10	Rodillo A5	23	250	50
11	Rodillo A6	23	350	95
12	Rodillo A7	23	450	70
13	Pórtico	16	150	6
14	Polipastos	16	450	6
15	Nave 7	99	200	50
16	Almacenes	160	250	95
17	Oficinas	99	250	70
18	Nave 1	3	100	6
19	Nave 2	16	10	6
20	Nave 3	3	160	6
21	Nave 4	11	185	6
22	Nave 5	13	275	10
23	Nave 6	3	400	6
24	Nave 7	25	200	16
25	Polipastos	86	450	95
26	Alumbrado público	42	150	6
			350	10
			620	25

En el capítulo 5 se llevan a cabo los diferentes cálculos para comprobar que esta instalación cumple con la normativa especificada en la Especificación Técnica de Baja Tensión, respecto a los niveles de caída de tensión, cables libres de halógenos y dimensionamiento de los interruptores automáticos.

Se ha comprobado que la caída de tensión está por debajo de los máximos especificados en la ITC-BT-19, exceptuando la carga nº 14 correspondiente a los servicios de polipastos. Por ello decidimos aumentar la sección del cable a 16 mm<sup>2</sup>, así cumpliremos con la normativa.

Además se ha decidido modificar las instalaciones del alumbrado público. Se ha dividido en tres circuitos con un interruptor automático de cabecera con una intensidad nominal de 50 A, y un interruptor automático para cada uno de los tres circuitos de alumbrado con una intensidad nominal de 16 A. De esta manera, se consigue mayor fiabilidad en el alumbrado, ya que ante una avería en uno de los circuitos, no influye en el resto.

De esta manera, el Cuadro General de Baja Tensión quedaría como se ve en la siguiente tabla:

**Tabla 4.5: Situación actual de cuadro de baja tensión**

Nº circuito	Intensidad	Longitud	Sección	Potencia	Caída de tensión (%)
1	57	100	25	31,59	1,41
2	80	100	35	44,34	1,41
3	25	90	6	13,86	2,32
4	146	50	70	80,92	0,65
5	42	100	16	23,28	1,62
6	15	160	6	8,31	2,47
7	68	200	35	37,69	2,40
8	40	240	25	22,17	2,38
9	17	240	10	9,42	2,52
10	23	250	50	12,75	0,71
11	23	350	95	12,75	0,52
12	23	450	70	8,87	0,91
13	16	150	6	8,87	2,48
14	16	450	66	54,87	2,78

Nº circuito	Intensidad	Longitud	Sección	Potencia	Caída de tensión (%)
15	99	200	50	88,68	2,45
16	160	250	95	54,87	2,61
17	99	250	70	1,66	2,19
18	3	100	6	6,10	0,31
19	16	10	6	7,21	0,17
20	3	160	6	1,66	0,49
21	11	185	6	6,10	2,1
22	13	275	10	7,21	2,21
23	3	400	6	1,66	1,24
24	25	200	16	13,86	1,93
25	86	450	95	47,67	2,52
26	12	150	6	9,87	2,32
26	15	350	10	7,24	2,38
26	15	320	25	10,53	2,46

Las canalizaciones desde este cuadro de BT a las distintas cargas, ya instaladas, se tratan de bandejas a lo largo de las paredes. Estas son bandejas portacables metálicas formando una estructura rígida permitiéndonos posar los cables sobre ellas.

Las bandejas deben garantizar la equipotencialidad de los cables en cumplimiento de la norma UNE-EN 61537. Para ello, se emplea un conductor desnudo conectado a las bandejas y las correspondientes puestas a tierra para proteger la instalación contra contactos directos e indirectos. Sin embargo, pese a estar conectados a tierra, las bandejas no se utilizarán como conductores de neutro. [16]

## 5. Cálculos eléctricos

### 5.1. Línea eléctrica subterránea de 25 kV

La red de suministro de energía para los equipos de la Base de Mantenimiento tomará la energía de los transformadores de una Subestación eléctrica de Tracción a 7.200 metros, distribuyendo los 25 kV monofásicos a través de una línea en tendido subterráneo, al centro de transformación de la Base de Mantenimiento donde la tensión es reducida a 230 Vca monofásicos, que tras pasar rectificadores y onduladores, esta tensión se transformará en 400 Vca trifásicos.

Dicha línea subterránea partirá desde la Subestación de Tracción mediante una celda aislada en aire con rupto-fusible e interruptor seccionador de 36 KV. Desde esta celda saldrá un cable de aluminio de 1x150 mm<sup>2</sup> y otros dos cables del armario barra cero de la subestación, en canalización durante las proximidades de la subestación a una profundidad de 1,5 metros, con aislamiento termoestable de polietileno reticulado adecuados al nivel de tensión de 25 kV. La temperatura máxima de servicio de los cables, será de 90 °C, y la de cortocircuito, de 250 °C.

Estos cables llegarán subterráneos hasta el transformador de 400 KVA, situado en la caseta prefabricada de la Base de Mantenimiento.

Además, se instalará un seccionador motorizado, preparado para su control desde la remota del telemando de subestaciones, que actuará como elemento de corte de la línea de 25 kV para la línea principal desde la subestación.

La tensión de cortocircuito del transformador ubicado en la subestación es del 4 %, la potencia de estos transformadores es de 60 MVA y la corriente de cortocircuito  $I_{cc}=16$  KA

Para el dimensionamiento de esta línea, debemos llevar a cabo tres consideraciones:

- Intensidad máxima admisible por el cable en servicio permanente.
- Intensidad máxima admisible en cortocircuito en un tiempo determinado.
- Caída de tensión.

#### 5.1.1. Diseño por cortocircuito

De los tres casos citados anteriormente, el de cortocircuito es el más desfavorable y por ello el más restrictivo. En un cable, un cortocircuito produce una corriente de valor muy elevado pero en un periodo de tiempo muy pequeño, por ello podemos suponer un calentamiento adiabático, es decir, que todo el calor generado, no se disipa, se queda en el conductor y se emplea en calentar el cable. Debido a esto, se emplea la siguiente fórmula contemplada en la norma UNE21144:

$$R \cdot I_{cc}^2 \cdot dt = m \cdot C \cdot d\theta \quad [1]$$

siendo:

- R: resistencia del conductor [kg]  
 I<sub>cc</sub>: intensidad de cortocircuito [A]  
 dt: diferencial de tiempo [-]  
 m: masa del conductor [kg]  
 C: calor específico del conductor [(W·s)/ (kg·K)]  
 dθ: diferencial de temperatura [-]

De esta expresión, se deduce la ecuación 2, que relaciona los parámetros característicos del conductor, la corriente de cortocircuito y la Sección del conductor:

$$\frac{I_{cc}^2}{S^2} \cdot t_{cc} = \frac{\gamma \cdot c}{\alpha_{20^\circ C} \cdot \rho_{20^\circ C}} \cdot \ln \frac{1 + \alpha_{20^\circ C} \cdot (\theta_f - 20)}{1 + \alpha_{20^\circ C} \cdot (\theta_i - 20)} \quad [2]$$

siendo:

- I<sub>cc</sub>: intensidad de cortocircuito [A]  
 t<sub>cc</sub>: tiempo de cortocircuito [s]  
 S: sección del conductor [mm<sup>2</sup>]  
 γ: densidad del conductor [kg/m<sup>3</sup>]  
 c: calor específico [(W·s)/ (kg·K)]  
 α<sub>20</sub>: coeficiente de variación de la resistividad con la temperatura, referido a 20°C [K<sup>-1</sup>]  
 ρ<sub>20</sub>: resistividad del conductor a 20 °C [Ω·m]  
 θ<sub>f</sub>: temperatura final del cortocircuito para XLPE [°C]  
 θ<sub>i</sub>: temperatura inicial del cortocircuito para XLPE [°C]

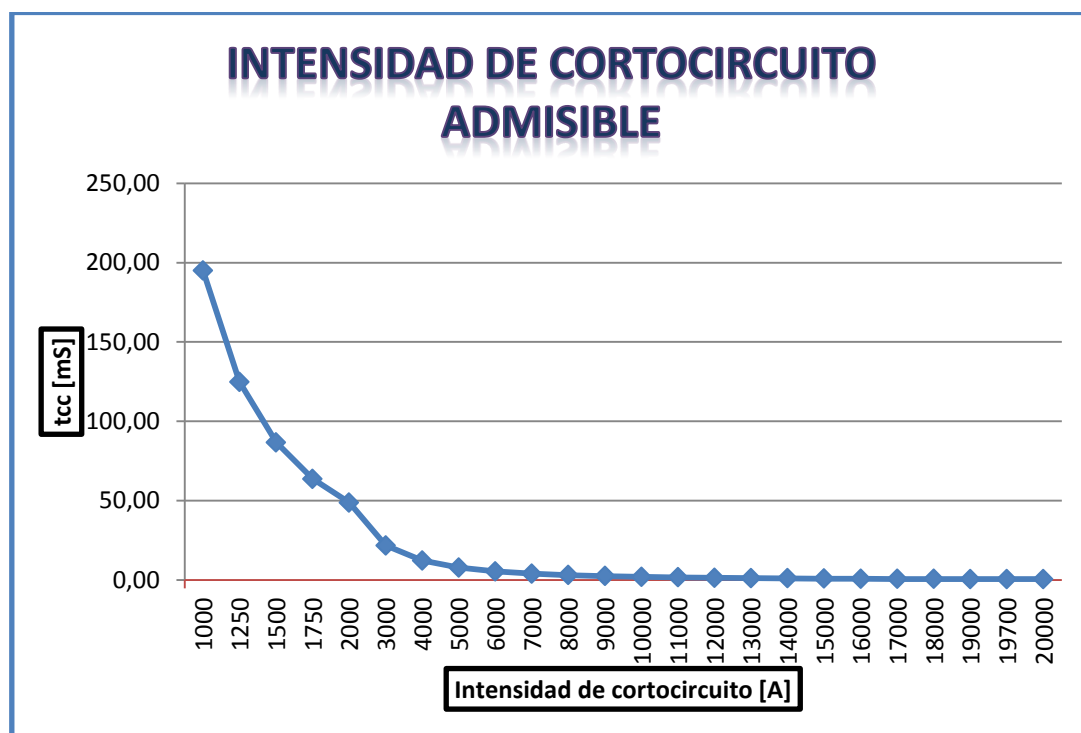
siendo:

**Tabla 5.1: Condiciones de cálculo ecuación 2**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
I <sub>cc</sub>	[kA]	16
t <sub>cc</sub>	[s]	0,5

$\gamma$	[kg/m <sup>3</sup> ]	2700
C	[(W·s)/ (kg·K)]	910
$\alpha_{20}$	[K <sup>-1</sup> ]	0,004
$\rho_{20}$	[ $\Omega \cdot m$ ]	$2,87 \cdot 10^{-8}$
$\theta_f$	[°C]	250
$\theta_i$	[°C]	90

Sustituyendo estos valores en la ecuación 2, con una intensidad de cortocircuito de 16 kA y un tiempo de actuación de las protecciones de 500 milisegundos, se obtiene una sección mínima de 121,45 mm<sup>2</sup>, por lo que se dará por válida una sección de 150 mm<sup>2</sup>.



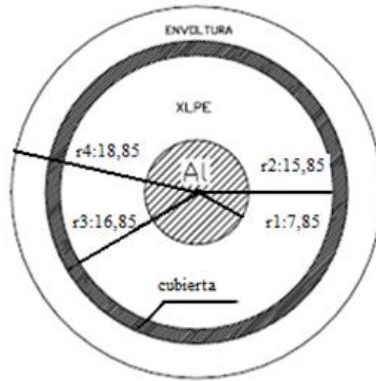
**Figura 5.1: Representación de intensidad de cortocircuito frente a tiempo de cortocircuito**

En la Figura 5.1, se puede observar una gráfica en la cual se representa la intensidad de cortocircuito admisible en la línea frente al tiempo de cortocircuito. Como se ha dicho antes para una sección de 121,45 mm<sup>2</sup>, la intensidad admisible serían 16 kA. Sin embargo la sección a instalar es de 150 mm<sup>2</sup>. Con esta sección la intensidad de cortocircuito admisible asciende a 19,70 kA.

### 5.1.2. Intensidad admisible

Una vez calculada la sección del conductor, se procede al cálculo de la intensidad máxima admisible que puede circular, en régimen permanente, sin que se alcance la temperatura máxima admisible de 90 °C (a la cual se degrada el aislamiento de polietileno reticulado).

Figura 5.2: Dimensiones cable de Aluminio con aislamiento de XLPE [34]



Según la norma CEI 287, profundidad a la que debemos enterar los cables, para unos niveles de tensión de  $24 < U < 36$  kV, es de 1,5 metros.

Tabla 5.2: Características cable 150 mm<sup>2</sup>

CONDICIONES DE CÁLCULO		
Nº de cables	[Ud]	2
Sección	[mm <sup>2</sup> ]	150
Profundidad (h)	[m]	1,50
Separación entre conductores	[cm]	7
Coeficiente de variación con la temperatura	[°C <sup>-1</sup> ]	0,004
Coeficiente de pérdidas en la pantalla metálica ( $\lambda_1$ )	[-]	0,3
Tangente de pérdidas en XLPE	[-]	0,008
Constante dieléctrica del vacío (C')	[F/m]	$8,85 \cdot 10^{-12}$
Resistividad térmica de la cubierta exterior ( $\rho_3$ )	[K·m/W]	7
Resistividad térmica de XLPE ( $\rho_1$ )	[K·m/W]	4
Resistividad térmica del terreno ( $\rho_T$ )	[K·m/W]	1

Temperatura del terreno	[°C]	25
Espesor del aislamiento del polietileno reticulado	[mm]	8
Espesor de la pantalla metálica	[mm]	1
Espesor de la cubierta exterior	[mm]	2
r1	[mm]	7,85
r2	[mm]	15,85
r3	[mm]	16,85
r4	[mm]	18,85

La expresión de la intensidad máxima admisible, según la norma UNE 21144 es:

$$I_{adm} = \sqrt{\frac{\Delta\theta - \Delta\theta_D}{R' \cdot [T_1 + (1 + \lambda_1) \cdot (T_3 + T_4^*)]}} \quad [3]$$

siendo:

$I_{adm}$ :	intensidad máxima admisible [A]
$\Delta\theta$ :	diferencia de temperatura entre conductor y terreno [°C]
$T_1$ :	resistencia térmica del polietileno reticulado [K·m/W]
$T_3$ :	resistencia térmica de la cubierta exterior [K·m/W]
$R'$ :	resistencia del conductor por unidad de longitud [ $\Omega \cdot m^{-1}$ ]
$T_4^*$ :	$T_4 + \Delta T_4$ [K·m/W]
$T_4$ :	resistencia térmica del terreno [K·m/W]
$\Delta T_4$ :	corrección de la variable $T_4$ debida a la presencia de otro cable [K·m/W]
$\Delta\theta_D$ :	$P_{pD} \cdot (0,5 \cdot T_1 + T_3 + T_4^*)$ [K·m]
$P_{pD}$ :	potencia de pérdida del dieléctrico (XLPE) [W]

Previamente, se calculan los parámetros de la ecuación 3 por separado, tal y como se muestra en las ecuaciones de la 4 a la 10:



$$R'_{90^{\circ}C} = R'_{20^{\circ}C} \cdot [1 + \alpha_{20^{\circ}C} \cdot (\theta_{admissible} - 20^{\circ}C)] \quad [4]$$

$$T_1 = \frac{\rho_1}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{r_2}{r_1}\right) \quad [5]$$

$$T_3 = \frac{\rho_3}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{r_4}{r_3}\right) \quad [6]$$

$$T_4 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{2 \cdot h}{r_4}\right) \quad [7]$$

$$\Delta T_4 = \frac{\rho_T}{2 \cdot \pi} \cdot \ln\left(\frac{\sqrt{4 \cdot h^2 + s^2}}{s}\right) \quad [8]$$

$$P_{pD} = \omega \cdot C' \cdot U^2 \cdot tg(\delta) \quad [9]$$

$$\Delta \theta_D = P_{pD} \cdot (0,5 \cdot T_1 + T_3 + T_4^*) \quad [10]$$

En la Tabla 5.3 se muestran los resultados de cada uno de los parámetros anteriormente indicados.

**Tabla 5.3: Resultado ecuaciones 4 a 10**

$R'_{90^{\circ}C}$	$[\Omega \cdot m^{-1}]$	$52,48 \cdot 10^{-5}$
$T_1$	$[K \cdot m/W]$	0,45
$T_3$	$[K \cdot m/W]$	0,13
$T_4$	$[K \cdot m/W]$	0,81
$\Delta T_4$	$[K \cdot m/W]$	0,53
$T_4^*$	$[K \cdot m/W]$	1,34
$P_{pd}$	$[W]$	0,31
$\Delta \theta_D$	$[K \cdot m]$	0,52

Sustituyendo en la ecuación 3, obtenemos que la Intensidad máxima admisible por el cable  $150 \text{ mm}^2$  en régimen permanente es igual a 228,12 Amperios.

Para el cálculo de la intensidad nominal que circula por el cable de Aluminio de  $150 \text{ mm}^2$  utilizaremos el circuito equivalente que se muestra en la Figura 5.3:

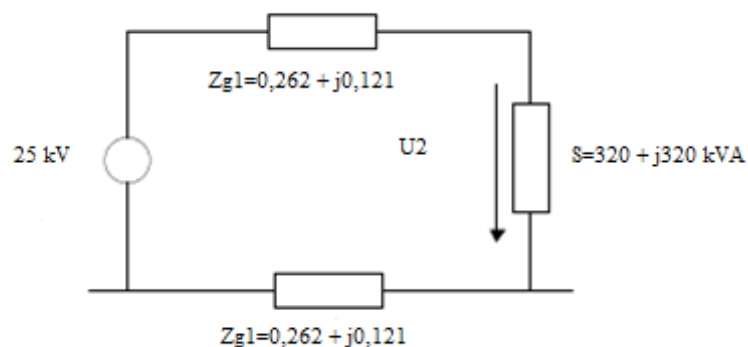


Figura 5.3: Circuito equivalente

siendo:

Tabla 5.4: Condiciones cálculo de intensidad nominal

Condiciones cálculo In		
Nº cables	[ud]	2
Sección	[mm <sup>2</sup> ]	150
Longitud	[m]	7.200
R'	[Ω]	0,524
X'	[Ω]	0,242
S	[KVA]	400
Cos φ	-	0,8

Aplicando el segundo lema de Kirchhoff, ecuación 11 y despejando, obtenemos que la caída de tensión en la carga (Base de Mantenimiento) es la indicada en la ecuación 12:

$$E_g = 2 \cdot Z_{g1} \cdot I + U_2; E_g \tilde{\delta} = (R + jX) \cdot \frac{P - jQ}{U_2} + U_2 \quad [11]$$

$$E_g^2 \cdot U_2^2 = (R \cdot P + X \cdot Q + U_2^2)^2 + (X \cdot P - R \cdot Q)^2 \quad [12]$$

La caída de tensión es igual a 24.990 V y la intensidad nominal del cable vendrá determinada por la ecuación 13:

$$I = \frac{P}{U \cdot \cos \varphi} \quad [13]$$

Por lo tanto, la Intensidad nominal será igual a 16,01 A, inferior a la intensidad máxima admisible en régimen permanente calculada anteriormente.

### 5.1.3. Diseño por caída de tensión

Por último, se comprobará si el cable seleccionado tras el cálculo de cortocircuito, es adecuado para que la caída de tensión desde la Subestación de Tracción hasta la Base de Mantenimiento no supere el 5%.

En la Figura 5.4, se muestra el diagrama de fasores tras aplicar el segundo lema de Kirchhoff, el cual permite el cálculo de la caída de tensión.

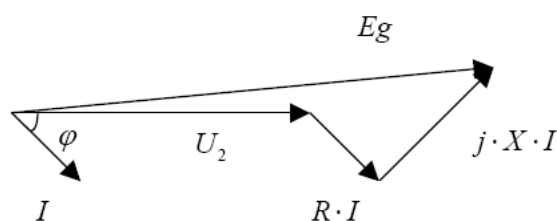


Figura 5.4: Diagrama de Fasores.

$$\Delta U = |E_g - U_2| = 2 \cdot (R' \cdot I \cdot \cos \varphi + X' \cdot I \cdot \sin \varphi) \cdot L \quad [14]$$

Sustituyendo la ecuación 14, se obtiene una caída de tensión en el cable de 10 Voltios, lo que supone un 0,04 % inferior al 5%.

## 5.2. Cable aislado de 230V

Tras la transformación de los 25 kV en los 230 V, se calcula la intensidad nominal que circulará a una tensión de 230 V, tal y como se muestra en la ecuación 15:

$$I_{N2^\circ} = \frac{I_{N1^\circ}}{r_t} \quad [15]$$

Es decir que la intensidad nominal en el secundario será igual a 1.739,13 Amperios

Con esta intensidad de 1.739,13 Amperios, y aplicando la Instrucción Técnica Complementaria de Baja Tensión (ITC-BT) del Reglamento Electrotécnico de Baja Tensión (REBT) y en concreto la ITC-BT-07, la instalación requiere 4 conductores de 300 mm<sup>2</sup>/fase. Esta línea tendrá una longitud aproximada de 30 metros.

### 5.3. Línea de 400 V

Una vez rectificadas los 230 V monofásicos a 400 Vca trifásicos, se comprueba que para esta línea, el criterio más desfavorable es el de caída de tensión. Esto es debido a que la longitud de esta línea es de 300 m, por lo que la caída de tensión será el aspecto más importante a tener en cuenta. En función de este criterio, esta línea consta de 5 conductores de cobre de 300 mm<sup>2</sup> por fase, con aislamiento termoestable de polietileno reticulado adecuados al nivel de tensión de 400 V y que cumplen la norma UNE 21123. Para el neutro se escoge el mismo tipo de conductores (5x300 mm<sup>2</sup>).

Para estos niveles de tensión, los cables deben de ir enterrados a una profundidad de 1 metro.

Para el cálculo de sección de los conductores de cobre se tiene en cuenta, según el reglamento de baja tensión, que la máxima tensión admisible será del 5 % (MIE BT 014).

La caída de tensión viene dada por la ecuación 16:

$$\Delta U = \frac{\rho \cdot P \cdot L}{U \cdot S} \quad [16]$$

siendo:

$\Delta U$ :	caída de tensión [V]
$\rho$ :	resistividad del cobre [ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]
P:	potencia nominal demanda [kW]
L:	longitud de la línea [m]
U:	nivel de tensión [V]
S:	potencia aparente nominal [kVA]

donde:

**Tabla 5.5: Condiciones calculo ecuación 16**

Nº cables	[Ud]	5
Sección	[mm <sup>2</sup> ]	300
Material		cobre
$\rho$	[ $\Omega \cdot \text{mm}^2/\text{m}$ ]	0,018
P	[kW]	320
L	[m]	300
U	[V]	400

S	[kVA]	400
---	-------	-----

Sustituyendo la ecuación 16, se obtiene una caída de tensión en el cable de 14,4 Voltios, lo que supone un 3,6 % inferior al 5%.

## 5.4. Cuadro de Baja tensión

### 5.4.1. Comprobación de Sección instalada

#### 5.4.1.1. Datos de partida

Como se puede ver en el esquema unifilar de la Base de Mantenimiento y que se muestra en el capítulo 6.1.3., los datos de partida de los cables para las cargas instaladas en la Base de Mantenimiento son los indicados en la Tabla 5.6:

**Tabla 5.6: Datos de partida Cuadro Baja Tensión**

Nº circuito	Carga	Intensidad [A]	Longitud [m]	Sección [mm <sup>2</sup> ]
1	Mesa-rodillos	57	100	25
2	Cepilladora	80	100	35
3	Rodillos	25	90	6
4	Periféricos	146	50	70
5	Sierra-rodillo	42	100	16
6	Enfriamiento	15	160	6
7	Prensa-rodillo	68	200	35
8	Esmerilado	40	240	25
9	Puesto mando	17	240	10
10	Rodillo A5	23	250	50
11	Rodillo A6	23	350	95
12	Rodillo A/	23	450	70
13	Pórtico	16	150	6
14	Polipastos	16	450	6
15	Nave 7	99	200	70
16	Almacenes	160	250	95

Nº circuito	Carga	Intensidad [A]	Longitud [m]	Sección [mm <sup>2</sup> ]
17	Oficinas	99	250	70
18	Nave 1	3	100	6
19	Nave 2	16	10	6
20	Nave 3	3	160	6
21	Nave 4	11	185	6
22	Nave 5	13	275	10
23	Nave 6	3	400	6
24	Nave 7	25	200	16
25	Polispastos	86	450	95
26	Alumbrado público	42	150	6
26			350	10
26			620	25

#### 5.4.1.2. Comprobación por caída de tensión

Dadas la intensidad, longitud y sección, con la fórmula 17, en la tabla 5.7 se calcula la potencia demandada por cada carga:

$$P = \sqrt{3} x U x I x \cos \varphi \quad [17]$$

siendo:

P: potencia demandada por la carga [kW]

U: tensión en lado de baja tensión [V]

I: intensidad nominal que puede circular por la carga [A]

Cos  $\varphi$ : factor de potencia de cada circuito [p.u.]

U: nivel de tensión de la línea [V]

- En el alumbrado público, se estima un factor de potencia de 0,9 que es valor de factor de potencia mínimo estipulado por ITC-BT-44.
- Para los grupos de fuerza se admite un coseno del 0,8

Una vez obtenida la potencia de cada circuito, se obtendrá la caída de tensión en la misma tabla:

$$U = \frac{\sqrt{3} \cdot L \cdot I \cdot \cos\varphi}{C \cdot S} \quad [18]$$

siendo:

- U: caída de tensión [V]  
 L: longitud del circuito [m]  
 I: intensidad nominal que puede circular por la carga [A]  
 cos φ: factor de potencia de cada circuito [p.u.]  
 c: conductividad del cobre [m/Ω·mm<sup>2</sup>]  
 S: sección del cable [mm<sup>2</sup>]

**Tabla 5.7: Comprobación caídas de tensión en Cuadro de Baja Tensión**

Nº circuito	Intensidad[A]	Longitud [m]	Sección [mm2]	Potencia [kW]	Caída de tensión (%)
1	57	100	25	31,59	1,41
2	80	100	35	44,34	1,41
3	25	90	6	13,86	2,32
4	146	50	70	80,92	0,65
5	42	100	16	23,28	1,62
6	15	160	6	8,31	2,47
7	68	200	35	37,69	2,40
8	40	240	25	22,17	2,38
9	17	240	10	9,42	2,52
10	23	250	50	12,75	0,71
11	23	350	95	12,75	0,52
12	23	450	70	8,87	0,91
13	16	150	6	8,87	2,48
14	16	450	6	54,87	7,42
15	99	200	50	88,68	2,45

Nº circuito	Intensidad[A]	Longitud [m]	Sección [mm <sup>2</sup> ]	Potencia [kW]	Caída de tensión (%)
16	160	250	95	54,87	2,61
17	99	250	70	1,66	2,19
18	3	100	6	6,10	0,31
19	16	10	6	7,21	0,17
20	3	160	6	1,66	0,49
21	11	185	6	6,10	2,1
22	13	275	10	7,21	2,21
23	3	400	6	1,66	1,24
24	25	200	16	13,86	1,93
25	86	450	95	47,67	2,52
26	12	150	6	9,87	2,32
26	15	350	10	7,24	2,38
26	15	320	25	10,53	2,46

#### 5.4.1.3. Análisis de los resultados y modificaciones propuestas.

Considerando los resultados mostrados en la tabla 5.7, se llevan a cabo las siguientes modificaciones:

- Redimensionamiento carga nº 14: Como se puede ver en la tabla 5.7, todas las cargas, exceptuando el circuito número 14, cumplen que la caída de tensión es menor del 3%, valor correcto respecto al ITC-BT 07. Por ello se modifica la sección de dicho conductor, para que los valores de su caída de tensión sean admisible

Aumentando la sección a la siguiente sección normalizada de 10  $mm^2$  se tiene una caída del 4,45%. Este valor sería admisible según ITC-BT-19, sin embargo, se redimensiona el cable a una sección de 16  $mm^2$ , para tener una caída de tensión próxima al resto. La caída de tensión calculada es de 2,78%.

- División de alumbrado público en tres circuitos, con un interruptor automático para cada uno y un interruptor general para el conjunto. De esta manera se consigue una mayor fiabilidad en el alumbrado, ya que ante avería de un circuito no influye en los otros dos.

En la tabla 5.8 se muestra el Cuadro de Baja Tensión con las modificaciones especificadas anteriormente:



**Tabla 5.8: Cuadro de Baja tensión con modificaciones**

Nº circuito	Intensidad [A]	Longitud [m]	Sección [mm2]	Potencia [kW]	Caída de tensión (%)
1	57	100	25	31,59	1,41
2	80	100	35	44,34	1,41
3	25	90	6	13,86	2,32
4	146	50	70	80,92	0,65
5	42	100	16	23,28	1,62
6	15	160	6	8,31	2,47
7	68	200	35	37,69	2,40
8	40	240	25	22,17	2,38
9	17	240	10	9,42	2,52
10	23	250	50	12,75	0,71
11	23	350	95	12,75	0,52
12	23	450	70	8,87	0,91
13	16	150	6	8,87	2,48
14	16	450	66	54,87	2,78
15	99	200	50	88,68	2,45
16	160	250	95	54,87	2,61
17	99	250	70	1,66	2,19
18	3	100	6	6,10	0,31
19	16	10	6	7,21	0,17
20	3	160	6	1,66	0,49
21	11	185	6	6,10	2,1
22	13	275	10	7,21	2,21
23	3	400	6	1,66	1,24
24	25	200	16	13,86	1,93

Nº circuito	Intensidad [A]	Longitud [m]	Sección [mm2]	Potencia [kW]	Caída de tensión (%)
25	86	450	95	47,67	2,52
26	12	150	6	9,87	2,32
26	15	350	10	7,24	2,38
26	15	320	25	10,53	2,46

## 5.4.2. Comprobación de Interruptores automáticos

### 5.4.2.1. Datos de partida

En la tabla 5.9, se exponen los interruptores automáticos instalados en el cuadro de baja tensión:

**Tabla 5.9: Datos de partida de interruptores automáticos**

Nº circuito	Carga	Sección [mm2]	I nominal de interruptor $I_N$ [A]
1	Mesa-rodillos	25	63
2	Cepilladora	35	80
3	Rodillos	6	25
4	Periféricos	70	160
5	Sierra-rodillo	16	50
6	Enfriamiento	6	16
7	Prensa-rodillo	35	80
8	Esmerilado	25	40
9	Puesto mando	10	20
10	Rodillo A5	50	25
11	Rodillo A6	95	25
12	Rodillo A7	70	25
13	Pórtico	6	16
14	Polipastos	6	16

Nº circuito	Carga	Sección [mm2]	I nominal de interruptor $I_N$ [A]
15	Nave 7	50	100
16	Almacenes	95	160
17	Oficinas	70	100
18	Nave 1	6	10
19	Nave 2	6	25
20	Nave 3	6	10
21	Nave 4	6	16
22	Nave 5	10	16
23	Nave 6	6	10
24	Nave 7	16	25
25	Polipastos	95	100
26	Alumbrado publico	6	50
		10	
		25	

#### 5.4.2.2. Comprobación

En este apartado se comprueba si los interruptores están correctamente dimensionados para las intensidades que van a circular, con las secciones obtenidas y teniendo un cable de Cobre tetrapolar, instalado sobre bandejas perforadas y aislamiento de PVC debemos cumplir que:

$$I_B \leq I_N \leq I_Z, \quad [19]$$

siendo:

- $I_B$ : intensidad de carga, dada en las tablas [A]
- $I_N$ : valor del interruptor automático [A]
- $I_Z$ : intensidad máxima admisible de la línea [A], sacada de ITC-BT-07. Dicha intensidad la sacamos con la sección de cable instalada y los factores que influyen en las instalaciones. En este caso el único factor de corrección es el de las bandejas perforadas y es de 1,00

Primero se calcula la intensidad máxima admisible de la línea ( $I_z$ ) en la tabla 5.10 teniendo en cuenta las modificaciones realizadas en el alumbrado público en el apartado anterior. Una vez calculada  $I_z$ , en la tabla 5.11, se comprueba que  $I_B \leq I_N \leq I_z$  en la totalidad de la instalación.

Adicionalmente, al tratarse de interruptores magnetotérmico, en la tabla 5.12, se comprueba que:

- $I_2 \leq 1,45 \cdot I_z$
- $I_2 = I_N \cdot 1,6$

**Tabla 5.10: Cálculo de máxima intensidad admisible**

Nº circuito	Sección [mm2]	I max. admisible ideal [A]	Factor de corrección [p.u.]	I max. Admisible real [A]
1	25	96	1,00	96
2	35	115	1,00	115
3	6	38	1,00	38
4	70	185	1,00	185
5	16	71	1,00	71
6	6	38	1,00	38
7	35	115	1,00	115
8	25	96	1,00	96
9	10	53	1,00	53
10	50	115	1,00	115
11	95	235	1,00	235
12	70	185	1,00	185
13	6	38	1,00	38
14	6	38	1,00	38
15	50	115	1,00	115
16	95	235	1,00	235
17	70	185	1,00	185
18	6	38	1,00	38
19	6	38	1,00	38

Nº circuito	Sección [mm <sup>2</sup> ]	I max. admisible ideal [A]	Factor de corrección [p.u.]	I max. Admisible real [A]
20	6	38	1,00	38
21	6	38	1,00	38
22	10	53	1,00	53
23	6	38	1,00	38
24	16	71	1,00	71
25	95	235	1,00	235
26	6	38	1,00	38
26	10	53	1,00	53
26	25	96	1,00	96

En la tabla 5.11 se comprueba que  $I_B \leq I_N \leq I_Z$ :

**Tabla 5.11: comprobación  $I_B < I_N < I_Z$**

Nº circuito	Intensidad de carga $I_B$ [A]	Intensidad de interruptor $I_N$ [A]	Intensidad admisible de línea $I_Z$ [A]
1	57	63	96
2	80	80	115
3	25	25	38
4	146	160	185
5	42	50	71
6	15	16	38
7	68	80	115
8	40	40	96
9	17	20	53
10	23	25	115
11	23	25	235
12	23	25	185

Nº circuito	Intensidad de carga $I_B$ [A]	Intensidad de interruptor $I_N$ [A]	Intensidad admisible de línea $I_Z$ [A]
13	16	16	38
14	16	16	38
15	99	100	115
16	160	160	235
17	99	100	185
18	3	10	38
19	16	25	38
20	3	10	38
21	11	16	38
22	13	16	53
23	3	10	38
24	25	25	71
25	86	100	235
26	12	16	38
26	15	16	53
26	15	16	96

Tras comprobar que se cumple  $I_B \leq I_N \leq I_Z$ , se comprueban los siguientes criterios:

- $I_2 \leq 1,45 \cdot I_Z$
- $I_2 = I_N \cdot 1,6$

**Tabla 5.12: Comprobación  $I_2 < 1,45 \cdot I_Z$**

Nº circuito	$I_N$	$I_2 = I_N \cdot 1,6$	$I_Z$	$I_Z \cdot 1,45$
1	63	100,8	96	139,2
2	80	128	115	166,75
3	25	40	38	55,1

Nº circuito	$I_n$	$I_2 = I_n \cdot 1,6$	$I_2$	$I_2 \cdot 1,45$
4	160	256	185	268,25
5	50	80	71	102,95
6	16	25,6	38	55,1
7	80	128	115	166,75
8	40	64	96	139,2
9	20	32	53	76,85
10	25	40	115	166,75
11	25	40	235	340,75
12	25	40	185	268,25
13	16	25,6	38	55,1
14	16	25,6	38	55,1
15	100	160	115	166,75
16	160	256	235	340,75
17	100	160	185	268,25
18	10	16	38	55,1
19	25	40	38	55,1
20	10	16	38	55,1
21	16	25,6	38	55,1
22	16	25,6	53	76,85
23	10	16	38	55,1
24	25	40	71	102,95
25	100	160	235	340,75
26	16	25,6	38	55,1
26	16	25,6	53	76,85
26	16	25,6	96	139,2

#### **5.4.2.3. Análisis de resultados y modificaciones propuestas.**

Como se puede ver desde la tabla 5.9 a la tabla 5.12, todas las especificaciones necesarias de los interruptores automáticos se cumplen. Por ello no es necesario hacer ninguna modificación en los interruptores instalados.

Únicamente se deben instalar nuevos interruptores en el nuevo circuito de alumbrado general. Se instalarán un interruptor en cabecera de 50 A y uno en cada circuito de 16 A.

### **5.5. Puesta a tierra centro de transformación**

Para la realización de dicho capítulo, se tiene en cuenta el Reglamento sobre Condiciones Técnicas y Garantías de Seguridad en Centrales Eléctricas, Subestaciones y Centros de Transformación (RCE) y más concretamente en el (MIE-RAT-13).

La puesta a tierra tiene como función limitar la tensión con respecto a tierra que pueden presentar las masas metálicas. Se entiende por poner a tierra la unión de uno o varios electrodos, enterrados en el suelo, con determinados elementos de la instalación mediante uniones metálicas. El objetivo es conseguir que no se produzcan diferencias de potencial peligrosas en el conjunto de instalaciones y superficies de terreno próximo. Además, se debe permitir el paso a tierra de las corrientes de falta o descargas de origen atmosférico.

Este capítulo tiene por objeto definir la puesta a tierra de las casetas prefabricadas donde se encuentran alojadas el centro de transformación. Dichas casetas de mantenimiento tienen una medida de 12 x 3 metros, sin embargo debemos de tener un margen de seguridad en la distancia transversal, por lo que diseñaremos un mallado de 12 x 9 metros. La instalación de puesta a tierra tendrá una profundidad de un metro como se especifica en el MIE-RAT-13

Dicho centro de transformación tiene una potencia de 400 KVA y una relación de transformación 25 KV/230V con una frecuencia de 50 Hz

Tras la investigación preliminar de las características del suelo donde se instalará esta caseta, se determina la resistividad media del terreno en 230 ohm x m ( $\rho=230 \Omega \cdot m$ )

El diseño de la instalación de puesta a tierra se realiza basándose en las tablas de Unesa.

#### **5.5.1. Cálculo de la intensidad de defecto a tierra**

Toda instalación eléctrica deberá disponer de una protección o instalación de tierra diseñada en forma tal que, en cualquier punto normalmente accesible del interior o exterior de la misma donde las personas pueden circular o permanecer, estas queden sometidas como máximo a las tensiones de paso y contacto

Por criterios de diseño de la red, la resistencia de PAT de la instalación debe ser  $R_t \leq 15 \Omega$  (Intensidad de defecto máxima garantizada por la Subestación de Tracción  $I_d=400 A$ ).

$$R_t = \rho \cdot k_r \quad [20]$$



siendo:

$R_t$ : resistividad de puesta a tierra [ $\Omega$ ]

$\rho$ : resistividad del terreno [ $\Omega \cdot m$ ]

$K_r$ : factor de resistencia

Es decir que  $k_r$  es igual a 0,065 Ohmios.

Con este  $K_r$ , se selecciona en las tablas de UNESA la configuración más adecuada. En este caso, correspondería la configuración marcada en azul en la figura 5.5. Debido a que Unesa ofrece unas dimensiones normalizadas, se considera la configuración de 6 mallas rectangulares de 6 x 3 metros cada una con la configuración que se muestra en la figura 5.5:

Rectángulo de 6.0 m x 3.0 m.

Sección conductor = 50 mm<sup>2</sup>.  
Diámetro picas = 14 mm.  
 $L_p$  = Longitud de la pica en m.

PROFUNDIDAD = 0.5 m

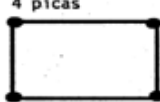
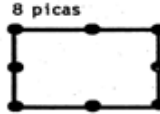
CONFIGURACION	$L_p$ (m)	RESISTENCIA $K_r$	TENSION DE PASO $K_p$	TENSION DE CONTACTO EXT $K_c = K_p(\text{acc})$	CODIGO DE LA CONFIGURACION
Sin picas	-	0.112	0.0225	0.0674	60-30/5/00
4 picas 	2	0.087	0.0193	0.0423	60-30/5/42
	4	0.071	0.0153	0.0307	60-30/5/44
	6	0.061	0.0126	0.0239	60-30/5/46
8 picas 	8	0.053	0.0107	0.0194	60-30/5/48
	2	0.077	0.0167	0.0344	60-30/5/82
	4	0.061	0.0123	0.0223	60-30/5/84
	6	0.050	0.0097	0.0161	60-30/5/86
	8	0.044	0.0079	0.0124	60-30/5/88

Figura 5.5: Tabla Unesa escogida [35]

$$R_t = \rho \cdot k_r = 230 \cdot 0,061 = 14,03 \Omega \leq 15\Omega$$

Una vez calculada la resistencia del sistema de tierra, con la fórmula 21, se calcula la intensidad de defecto a tierra ( $I_d$ ):

$$I_d = \frac{V}{\sqrt{3} \cdot \sqrt{R_t^2 + X_c^2}} \quad [21]$$

siendo:

$I_d$ : intensidad de defecto [A]

$V$ : tensión de servicio de la red [V]

Rt: resistencia de la puesta a tierra de protección del centro [ $\Omega$ ]

Xc: reactancia de los cables de red de MT [ $\Omega$ ]

$$X_c = \frac{1}{3 \cdot \omega \cdot C} \quad [22]$$

$$C = La \cdot Ca + Lb \cdot Cb \quad [23]$$

siendo:

C: capacidad [ $\mu F$ ]

La: longitud del cable aéreo [km]

Ca: capacidad de línea aérea [ $\mu F/km$ ]

Lb: longitud del cable subterráneo [km]

Cb: capacidad del cable subterráneo [ $\mu F/km$ ]

**Tabla 5.13: condiciones cálculo de intensidad de defecto a tierra**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
V	[V]	25.000
Rt	[ $\Omega$ ]	14,03
Xc	[ $\Omega$ ]	589,50
C	[ $\mu F$ ]	1,80
La	[km]	0
Ca	[ $\mu F/km$ ]	0,004
Lb	[km]	7,20
Cb	[ $\mu F/km$ ]	0,25

Sustituyendo estos valores en la fórmula 21, se obtiene una intensidad de defecto de 24,46 amperios.

## 5.5.2. Comprobación tensiones de paso y contacto

### 5.5.2.1. Tensiones de paso

Las tensiones de paso máximas del centro han de ser menores que las tensiones de paso especificados en el RCE:

$$V_{paso\ adm} = \frac{10\ K}{t^n} \left( 1 + \frac{6\rho}{1000} \right) \quad [24]$$

siendo:

$V_{paso\ adm}$  tensión de paso admisible [V]

$K=72$  y  $n=1$  para tiempos inferiores a 0,9 segundos

$K=78,5$  y  $n= 0,18$  para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos

$t$ : duración de la falta [s]

$\rho$ : resistividad del conductor por unidad de longitud [ $\Omega \cdot m$ ]

Para tiempos comprendidos entre 3 y 5 segundos la tensión de contacto aplicada ( $V_{ca} = \frac{K}{t^n}$ ) no sobrepasará los 64 V. Para tiempos superiores a 5 segundos la tensión de contacto aplicada no será superior a 50 V.

siendo:

Tabla 5.14: condiciones de cálculo de tensión de paso admisible

CONDICIONES DE CÁLCULO		
t	[s]	1,1
K	-	78,5
n	-	0,18
$\rho$	[ $\Omega \cdot m$ ]	230

Sustituyendo los valores de la tabla 5.14 en la ecuación 24, se obtiene una tensión de paso admisible de 1.836,52 voltios.

Por otra parte, con la fórmula 25, se obtiene la tensión de paso máxima por el centro de transformación.

$$V_{paso\ max} = k_p \cdot \rho \cdot I_d \quad [25]$$

siendo:

$V_{paso\ max}$ : tensión de Paso Máxima

- $k_p$ : constante de tensión de paso
- $\rho$ : resistividad del conductor por unidad de longitud [ $\Omega \cdot m$ ]
- $I_d$ : intensidad de defecto [A]

**Tabla 5.15: condiciones de cálculo de tensión de paso máxima**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
$k_p$	-	0,0126
$I_d$	[A]	24,46
$\rho$	[ $\Omega \cdot m$ ]	230

Sustituyendo los valores de la tabla 5.15, en la ecuación 25, se obtiene que la tensión de paso máxima será de 70,88 voltios

Como  $V_{paso\ adm} \geq V_{paso\ max}$ , cumplimos con la normativa.

#### 5.5.2.2. Tensiones de contacto

Las tensiones de contacto máximas del centro han de ser menores que las tensiones de contacto especificados en el RCE:

$$V_{contacto\ adm} = \frac{K}{t^n} \left( 1 + \frac{1,5\rho}{1000} \right) \quad [26]$$

siendo:

$V_{contacto\ adm}$ : tensión de contacto admisible [V]

$K=72$  y  $n=1$  para tiempos inferiores a 0,9 segundos

$K=78,5$  y  $n= 0,18$  para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos

$t$ : duración de la falta [s]

$\rho$ : resistividad del conductor por unidad de longitud [ $\Omega \cdot m$ ]

**Tabla 5.16: condiciones de cálculo de tensión de contacto admisible**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
$t$	[s]	1,1
$K$	-	78,5
$n$	-	0,18

$\rho$	$[\Omega \cdot m]$	230
--------	--------------------	-----

Sustituyendo los valores de la tabla 5.16 en la ecuación 26, la tensión de contacto admisible es de 103,78 voltios.

A continuación se calcula la tensión de contacto máxima, para la configuración de mallado elegido:

$$V_{contacto\ max} = K_c \cdot \rho \cdot I_d \quad [27]$$

siendo:

$V_{contact\ max}$ : tensión de contacto máxima [V]

$k_c$ : constante de tensión de contacto

$\rho$ : resistividad del conductor por unidad de longitud  $[\Omega \cdot m]$

$I_d$ : intensidad de defecto [A]

**Tabla 5.17: condiciones de cálculo de tensión de contacto máxima**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
$K_c$	-	0,0239
$I_d$	[A]	24,46
$\rho$	$[\Omega \cdot m]$	230

Sustituyendo los valores de la tabla 5.17 en la ecuación 27, se obtiene que la tensión de contacto máxima será de 134,46 voltios

Se puede comprobar que  $V_{contacto\ admisible} < V_{contacto\ max}$ , por lo que la configuración elegida NO es válida.

Debido a esto, debemos comprobar que se cumplen los cálculos con la siguiente configuración, marcada en la figura 5.5 en verde.

Con esta configuración 60-30/5/48, se tiene:

- $K_r=0,053$
- $K_p=0,0107$
- $K_c=0,0194$

Como estas constantes cambian, se recalculan los valores para la nueva configuración:

$$R_t = \rho \cdot k_r = 230 \cdot 0,053 = 12,19 \Omega \leq 15\Omega$$

Con este valor de  $K_r$  se obtiene despejando la ecuación 21 una intensidad de defecto a tierra de 24,46 A

Con esta  $I_d$ , se comprueba que se cumpla:

- $V_{paso\ max} \leq V_{paso\ adm}$
- $V_{contacto\ max} \leq V_{contacto\ adm}$

Para ello se sustituyen las ecuaciones de la 24 a la 27, obteniendo:

$V_{paso\ max.} = 60,19\ V$ , siendo menor que la tensión máxima admisible, lo que es correcto. Sin embargo  $V_{contacto\ max.} = 109,14\ V$ , lo que quiere decir que es mayor que la tensión máxima admisible, porque esta configuración tampoco es válida.

Debido a esto, se comprueba que se cumplen los cálculos con una nueva configuración, marcada en la figura 5.5 en morado.

Con esta configuración 60-30/5/86, se tiene:

- $K_r = 0,05$
- $K_p = 0,0097$
- $K_c = 0,0161$

Como estas constantes cambian, se recalculan los valores para la nueva configuración:

$$R_t = \rho \cdot k_r = 230 \cdot 0,05 = 11,5\ \Omega \leq 15\Omega$$

Con este valor de  $K_r$  se obtiene despejando la ecuación 21 una intensidad de defecto a tierra de 24,46 A

Con esta  $I_d$ , se comprueba que se cumpla:

- $V_{paso\ max} \leq V_{paso\ adm}$
- $V_{contacto\ max} \leq V_{contacto\ adm}$

Para ello se sustituyen las ecuaciones de la 24 a la 27, obteniendo:

$V_{paso\ max.} = 54,57\ V$ , siendo menor que la tensión máxima admisible, lo que es correcto. Además  $V_{contacto\ max.} = 90,57\ V$ , lo que quiere decir que es menor que la tensión máxima admisible, por lo que esta configuración SI cumple con la especificación técnica.

### 5.5.2.3. Tensión de acceso a CT

$$V_{paso\ adm\ CT} = \frac{10\ K}{t^n} \left( 1 + \frac{3\rho + 3\rho'}{1000} \right) \quad [28]$$

siendo:

$V_{paso\ adm\ CT}$       tensión de acceso al CT [V]

K=72 y n=1 para tiempos inferiores a 0,9 segundos

K=78,5 y n= 0,18 para tiempos superiores a 0,9 segundos e inferiores a 3 segundos

t: duración de la falta [s]

$\rho$ : resistividad del conductor por unidad de longitud [ $\Omega \cdot m$ ]

$\rho'$ : resistividad del hormigón [ $\Omega \cdot m$ ]

**Tabla 5.18: condiciones de cálculo de tensión de paso admisible a CT**

CONDICIONES DE CÁLCULO		
K	-	78,5
t	[s]	1,1
n	-	0,18
$\rho$	[ $\Omega \cdot m$ ]	230
$\rho'$	[ $\Omega \cdot m$ ]	3.000

Sustituyendo los valores de la tabla 5.18 en la ecuación 28, la tensión de contacto admisible es de 8.248 voltios.

$V_{paso adm CT} \geq V_{contacto max}$  , se cumple la normativa.

#### 5.5.2.4. Tensión de defecto

En la ecuación 29, se calcula la tensión de defecto:

$$V_d = R_t \cdot I_d \quad [29]$$

siendo:

Vd: tensión de defecto [V]

Rt: resistencia de la puesta a tierra de protección del centro [ $\Omega$ ]

Id: intensidad de defecto [A]

**Tabla 5.19: condiciones de cálculo de tensión de defecto**

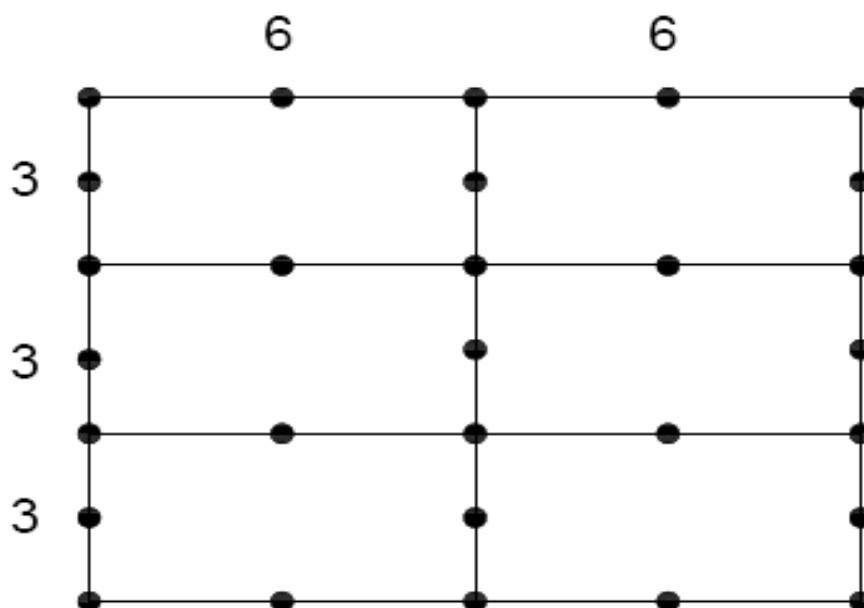
CONDICIONES DE CÁLCULO		
Rt	[ $\Omega$ ]	11,5

Id	[A]	24,46
----	-----	-------

Sustituyendo los valores de la tabla 5.19 en la ecuación 29, se obtiene que la tensión de defecto es 281,29 voltios.

Al ser la tensión de defecto menor que 1.000 V no es necesario una separación de PAT de seguridad.

En la figura 5.6 se observa que para la configuración elegida tendremos 29 picas de 14 mm de diámetro y una longitud de 6 metros. La sección de conductor será de 50 mm<sup>2</sup>



**Figura 5.6: Configuración de malla de puesta a tierra de CT**

Se dará por valido cualquier configuración de las tablas de Unesa con valores de Kr inferiores a los seleccionados, independientemente del número de picas, profundidad, geometría y dimensiones, ya que los valores de tensiones máximos serán inferiores que los calculados anteriormente por lo que quedaran por debajo de los admisibles.



## **6. Planos**

### **6.1. Esquemas eléctricos**

6.1.1 Esquema unifilar de Subestación de Tracción. Situación actual.

6.1.2 Esquema unifilar de Subestación de Tracción. Situación proyectada.

6.1.3 Esquema unifilar Baja Tensión. Situación actual.

6.1.4 Esquema unifilar Baja Tensión. Situación proyectada

6.1.5 Esquema de SAI

6.1.6 Celdas de Subestación

6.1.7 Celdas en Centro de Transformación

### **6.2. Emplazamiento**

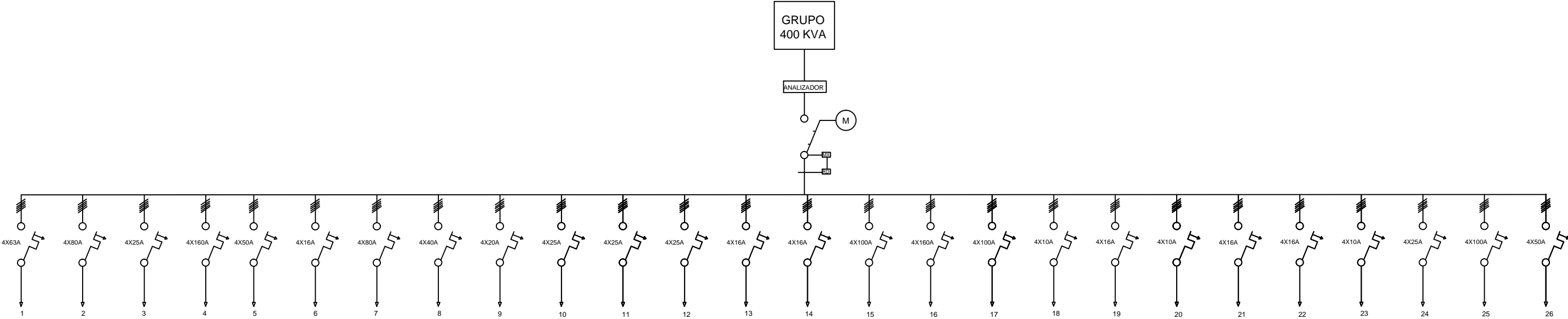
6.2.1 Caseta nº1.

6.2.2 Caseta nº2.

6.2.3 Red de tierras




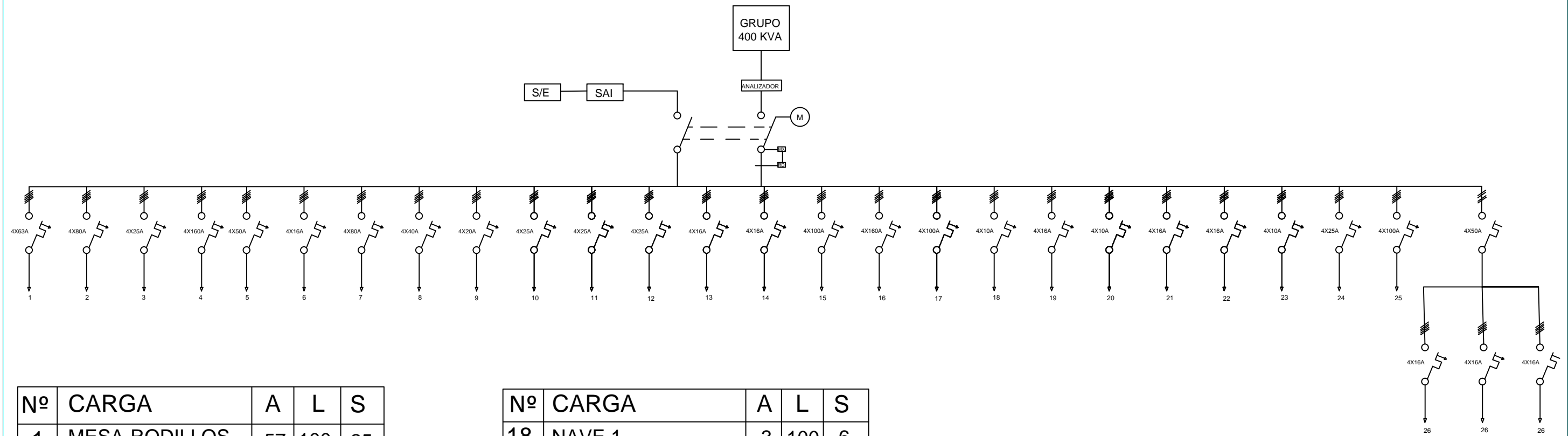




Nº	CARGA	A	L	S
1	MESA-RODILLOS	57	100	25
2	CEPILLADORA	80	100	35
3	RODILLOS	25	90	6
4	PERIFERICOS	146	50	70
5	SIERRA-RODILLO	42	100	16
6	ENFRIAMIENTO	15	160	6
7	PRENSA-RODILLO	68	200	35
8	ESMERILADO	40	240	25
9	PUESTO MANDO	17	240	10
10	RODILLO A5	23	250	50
11	RODILLO A6	23	350	95
12	RODILLO A7	23	450	70
13	PORTICO	16	150	6
14	POLIPASTOS	16	450	6
15	NAVE 7	99	200	50
16	ALMACENES	160	250	95
17	OFICINAS	99	250	70


Nº	CARGA	A	L	S
18	NAVE 1	3	100	6
19	NAVE 2	16	10	6
20	NAVE 3	3	160	6
21	NAVE 4	11	185	6
22	NAVE 5	13	275	10
23	NAVE 6	3	400	6
24	NAVE 7	25	200	16
25	POLIPASTOS	86	450	95
26	ALUMBRADO PÚBLICO	42	150	6
			350	10
			620	25

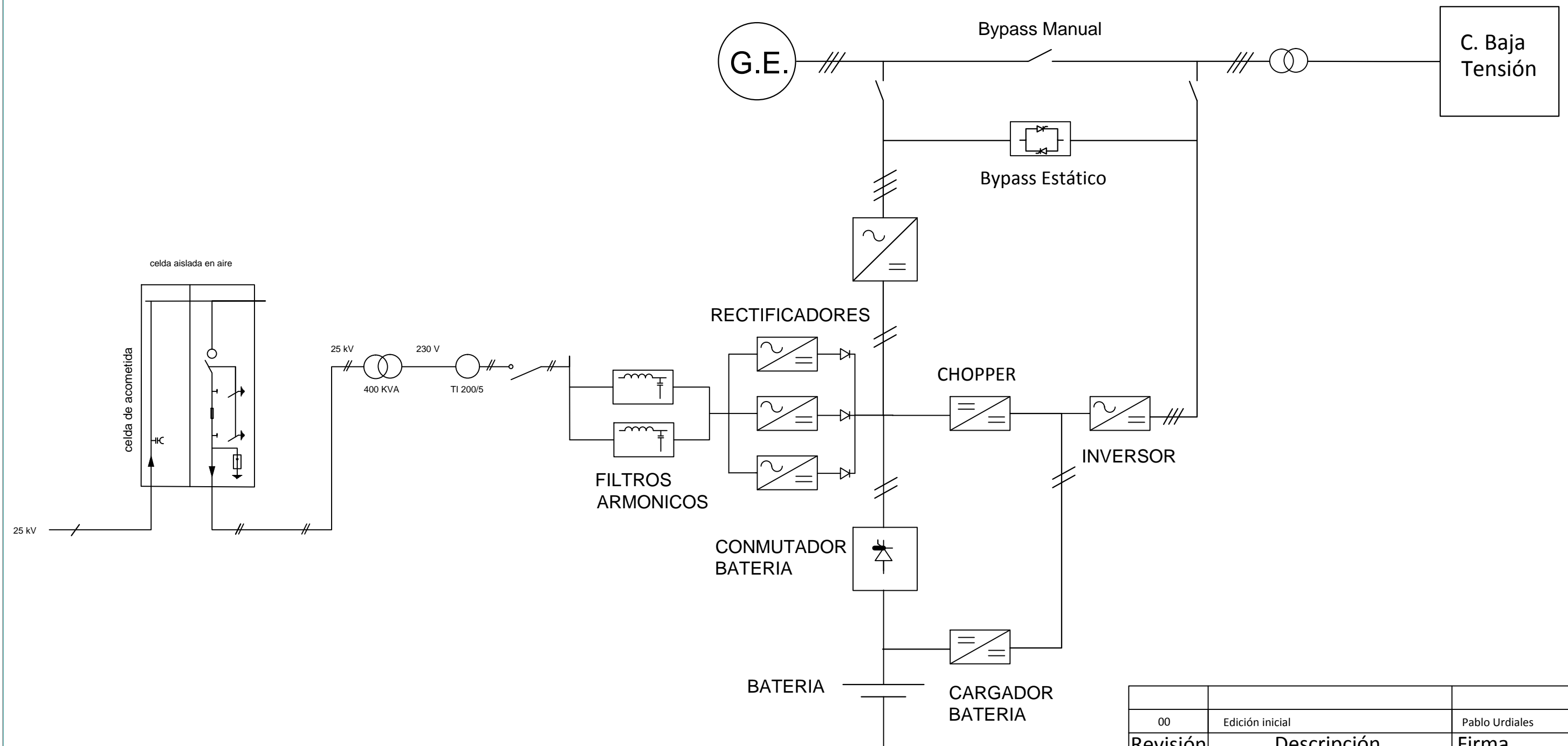
00	Edición inicial	Pablo Urdiales	
Revisión	Descripción	Firma	
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento		
		Fecha	Firma
	Dibujado	20/08/2015	Pablo Urdiales
	Aprobado	27/08/2015	Lorenzo Muñoz
	Escala	Nº plano: 6.1.3	
S/E	Esquema unifilar BT. Situación actual		




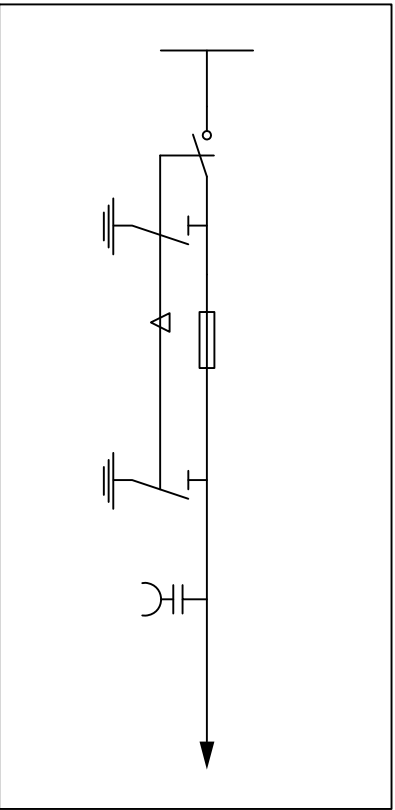
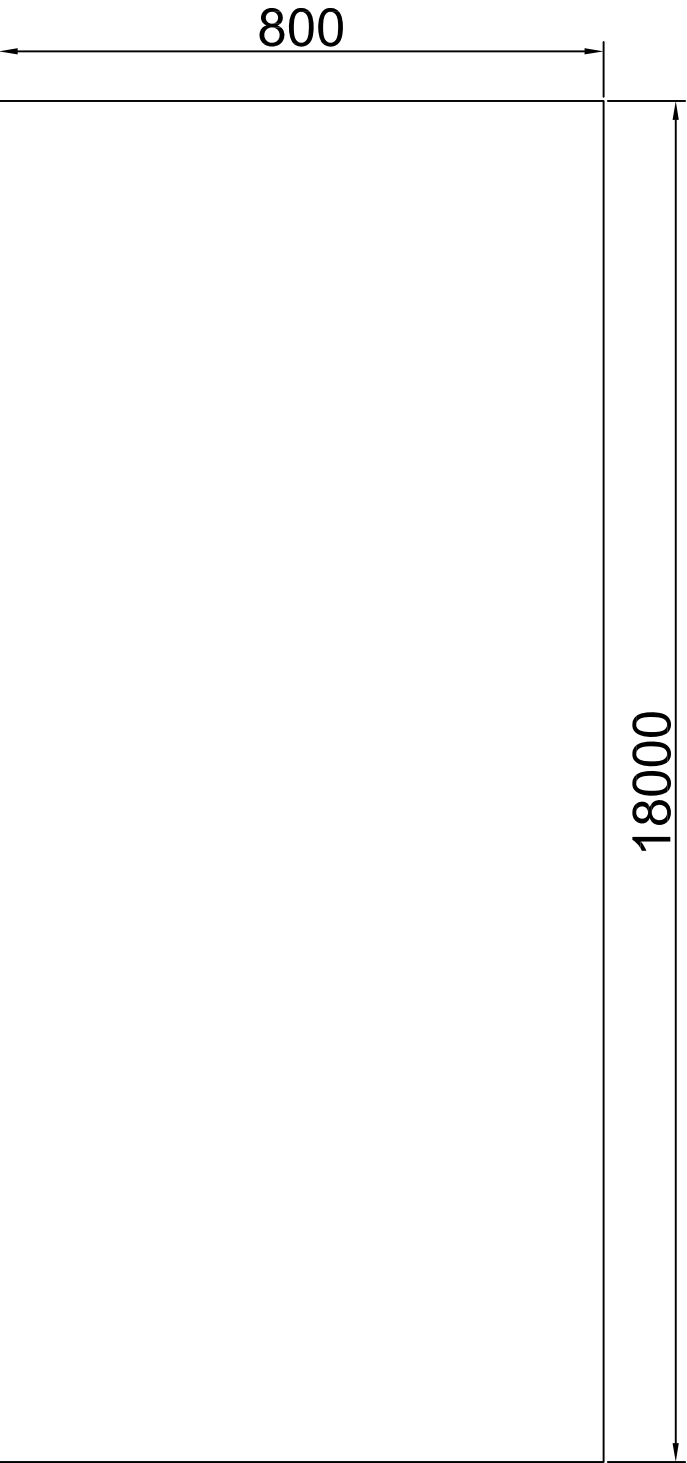
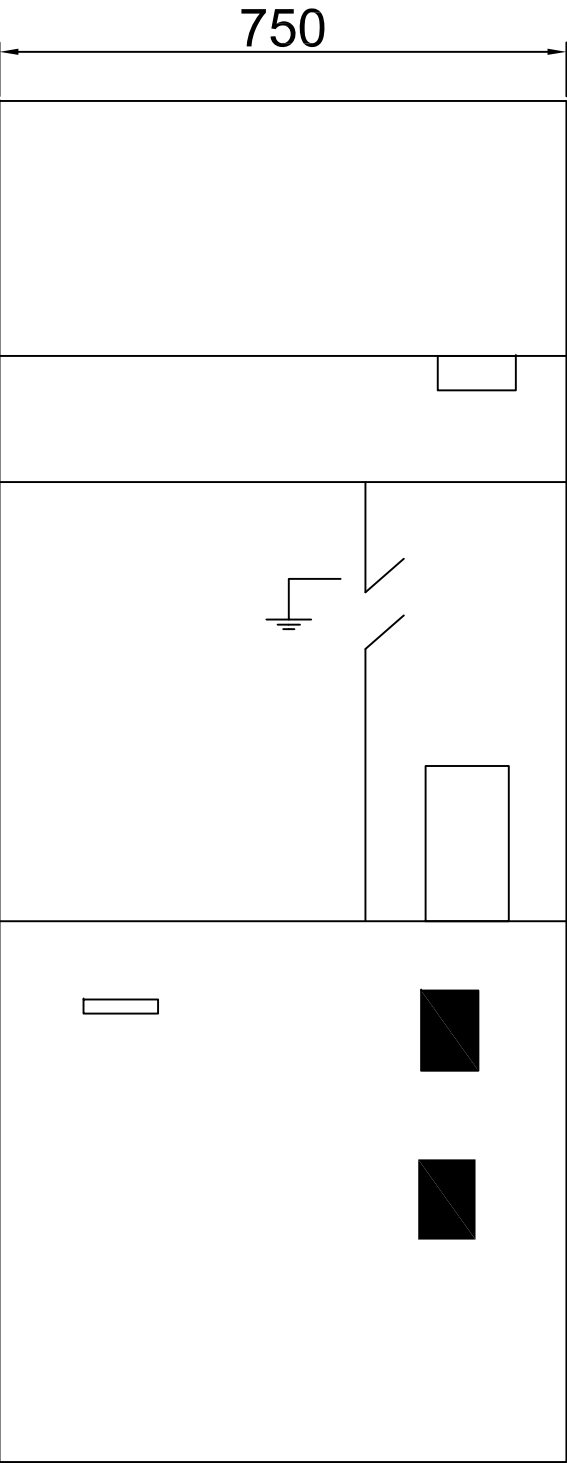
Nº	CARGA	A	L	S
1	MESA-RODILLOS	57	100	25
2	CEPILLADORA	80	100	35
3	RODILLOS	25	90	6
4	PERIFERICOS	146	50	70
5	SIERRA-RODILLO	42	100	16
6	ENFRIAMIENTO	15	160	6
7	PRENSA-RODILLO	68	200	35
8	ESMERILADO	40	240	25
9	PUESTO MANDO	17	240	10
10	RODILLO A5	23	250	50
11	RODILLO A6	23	350	95
12	RODILLO A7	23	450	70
13	PORTICO	16	150	6
14	POLIPASTOS	16	450	16
15	NAVE 7	99	200	50
16	ALMACENES	160	250	95
17	OFICINAS	99	250	70

Nº	CARGA	A	L	S
18	NAVE 1	3	100	6
19	NAVE 2	16	10	6
20	NAVE 3	3	160	6
21	NAVE 4	11	185	6
22	NAVE 5	13	275	10
23	NAVE 6	3	400	6
24	NAVE 7	25	200	16
25	POLIPASTOS	86	450	95
26	ALUMBRADO PÚBLICO	12	150	6
		15	350	10
		15	620	25

00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
	Fecha	Firma
	Dibujado Aprobado	20/08/2015 27/08/2015
Escala S/E		Esquema unifilar BT. Situación proyectada
		Nº plano: 6.1.4



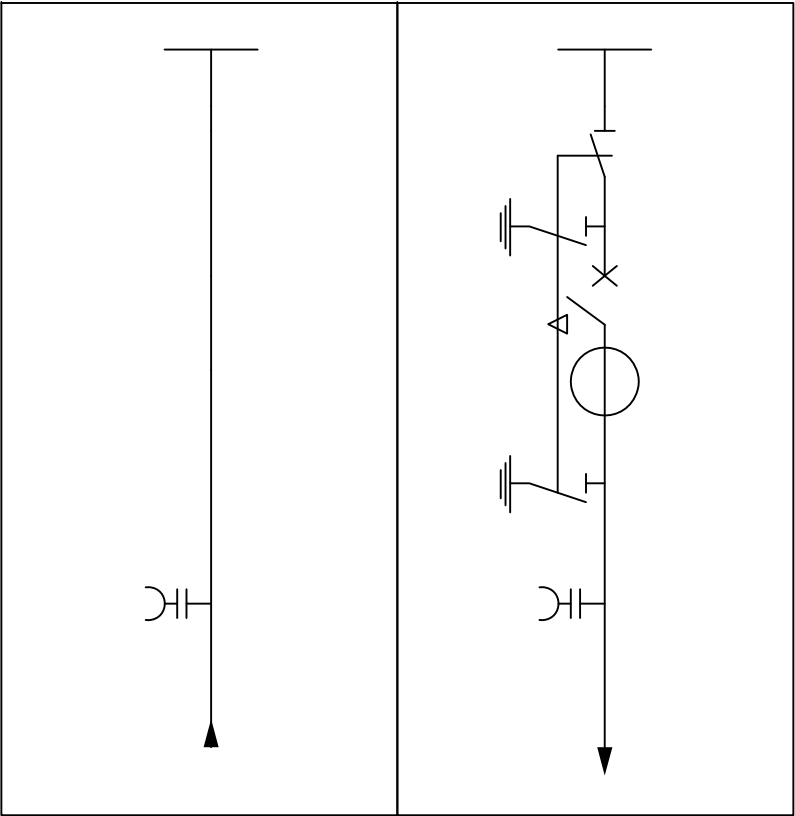
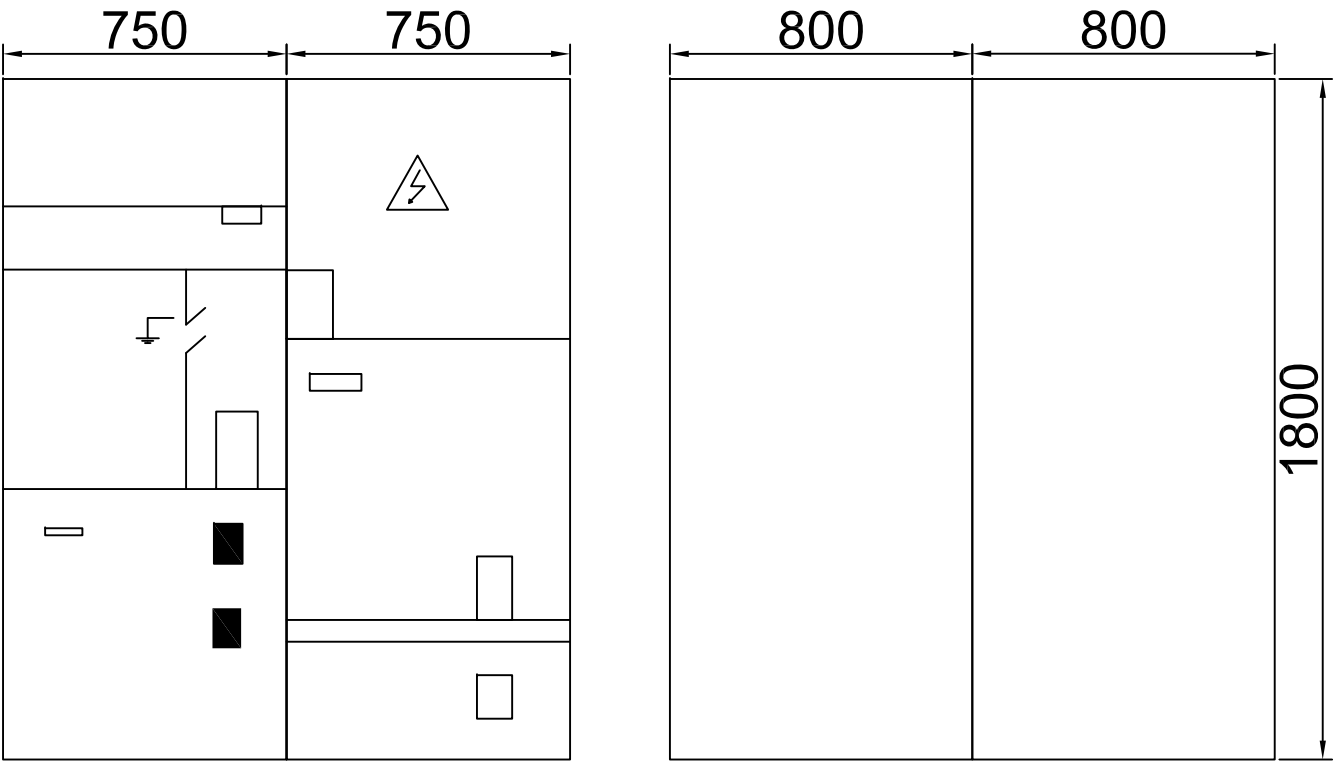
00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
	<b>Dibujado</b>	21/08/2015 Pablo Urdiales
	<b>Aprobado</b>	27/08/2015 Lorenzo Muñoz
<b>Escala</b>	S/E	Nº plano: 6.1.5



LEYENDA

	ENCLAVAMIENTO MECANICO
	TERMINACION DE CABLE
	SECCIONADOR EN CARGA
	SECCIONADOR EN CARGA CON CORTE VISIBLE
	FUSIBLE
	SECCIONADOR
	SECCIONADOR A TIERRA
	AUTOVALVULA
	CONDENSADOR

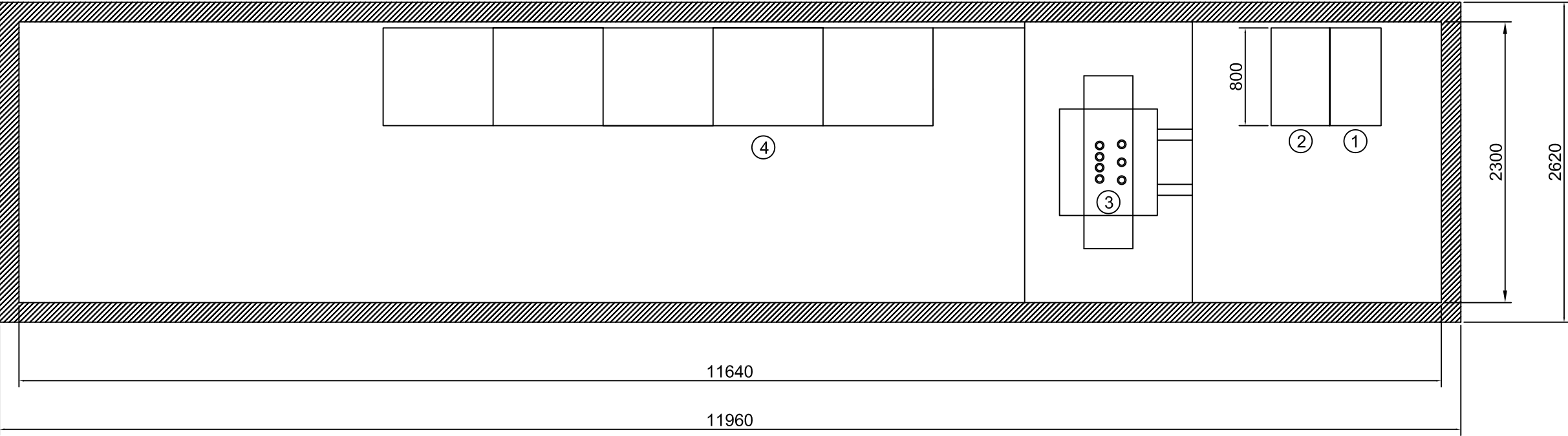
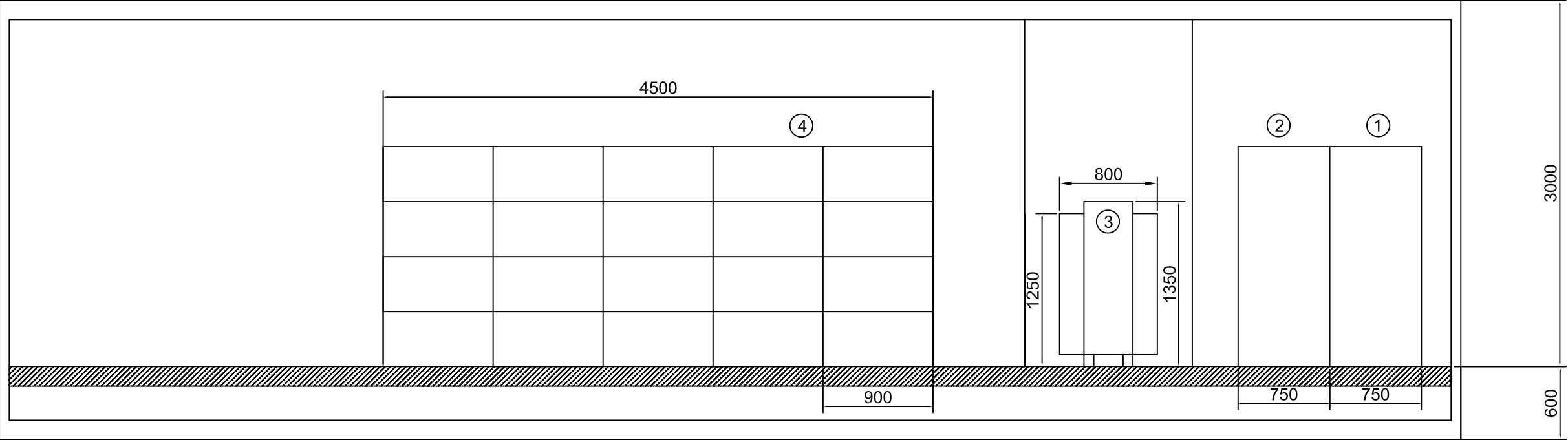
00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
		Fecha
	Dibujado	Pablo Urdiales
	Aprobado	Lorenzo Muñoz
Escala		Nº
1:100		plano: 6.1.6
Celdas en Base de Mantenimiento		




LEYENDA	
	ENCLAVAMIENTO MECANICO
	TERMINACION DE CABLE
	SECCIONADOR EN CARGA
	SECCIONADOR EN CARGA CON CORTE VISIBLE
	FUSIBLE
	SECCIONADOR
	SECCIONADOR A TIERRA
	AUTOVALVULA
	CONDENSADOR
	INTERRUPTOR AUTOMATICO

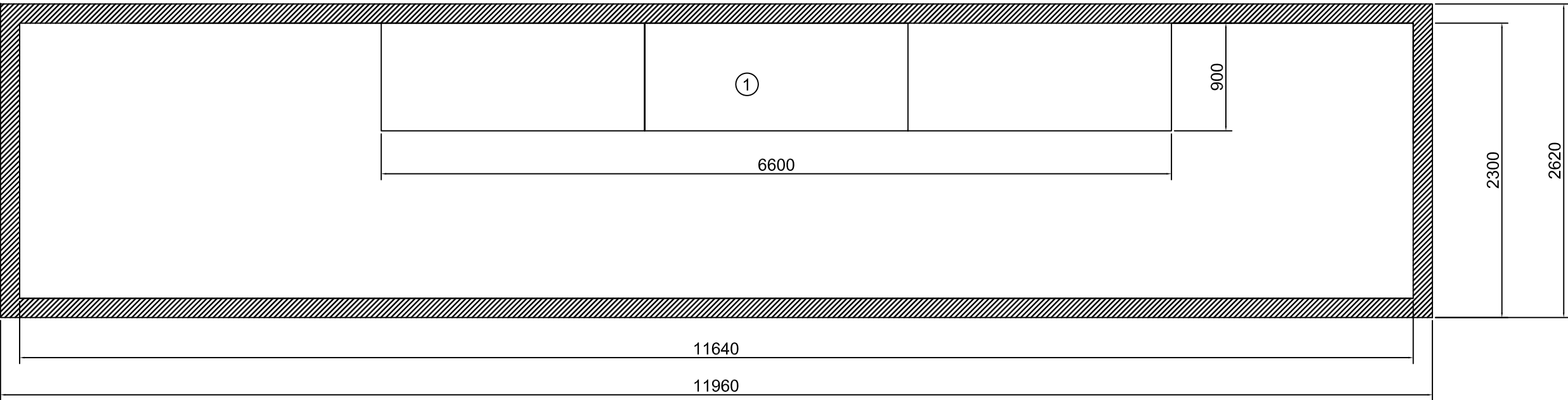
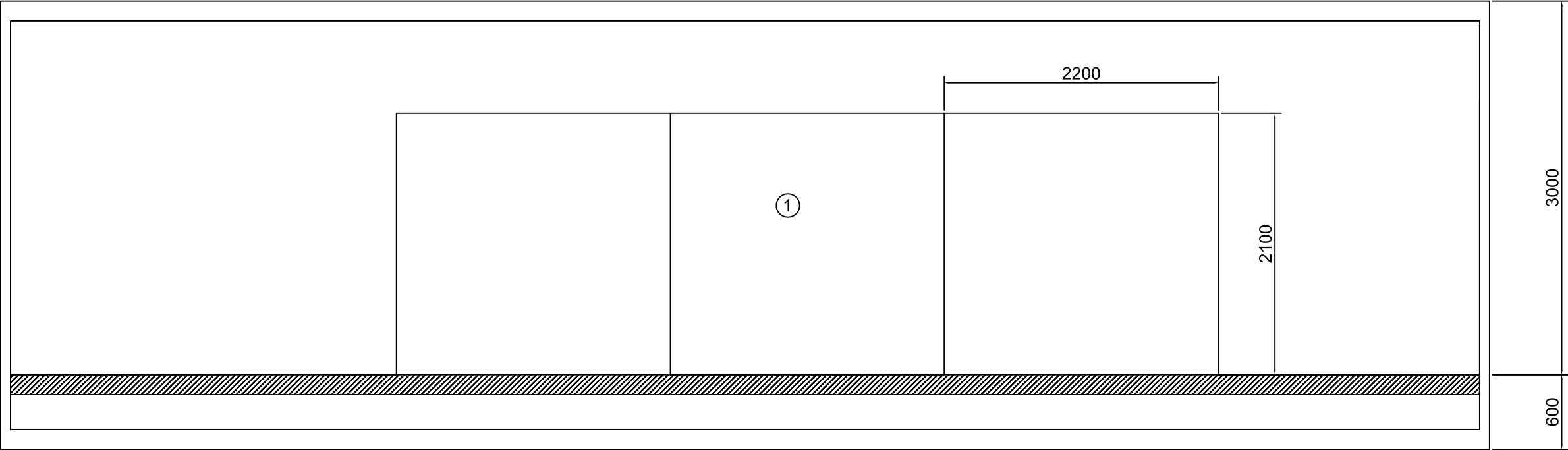
00	Edici3n inicial	Pablo Urdiales
Revisi3n	Descripci3n	Firma
	Proyecto de suministro de energa el3ctrica desde subestaci3n a base de mantenimiento	
		Fecha
	Dibujado	21/08/2015
	Aprobado	27/08/2015
Escala		Nº
1:200	Celdas en Base de Mantenimiento	plano: 6.1.7






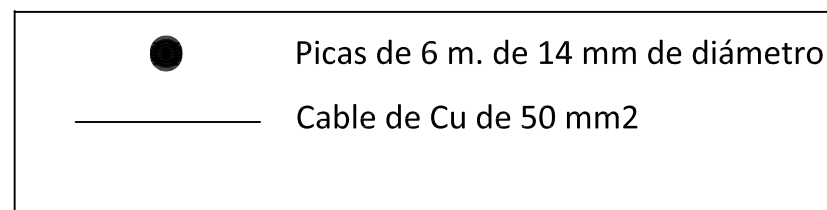
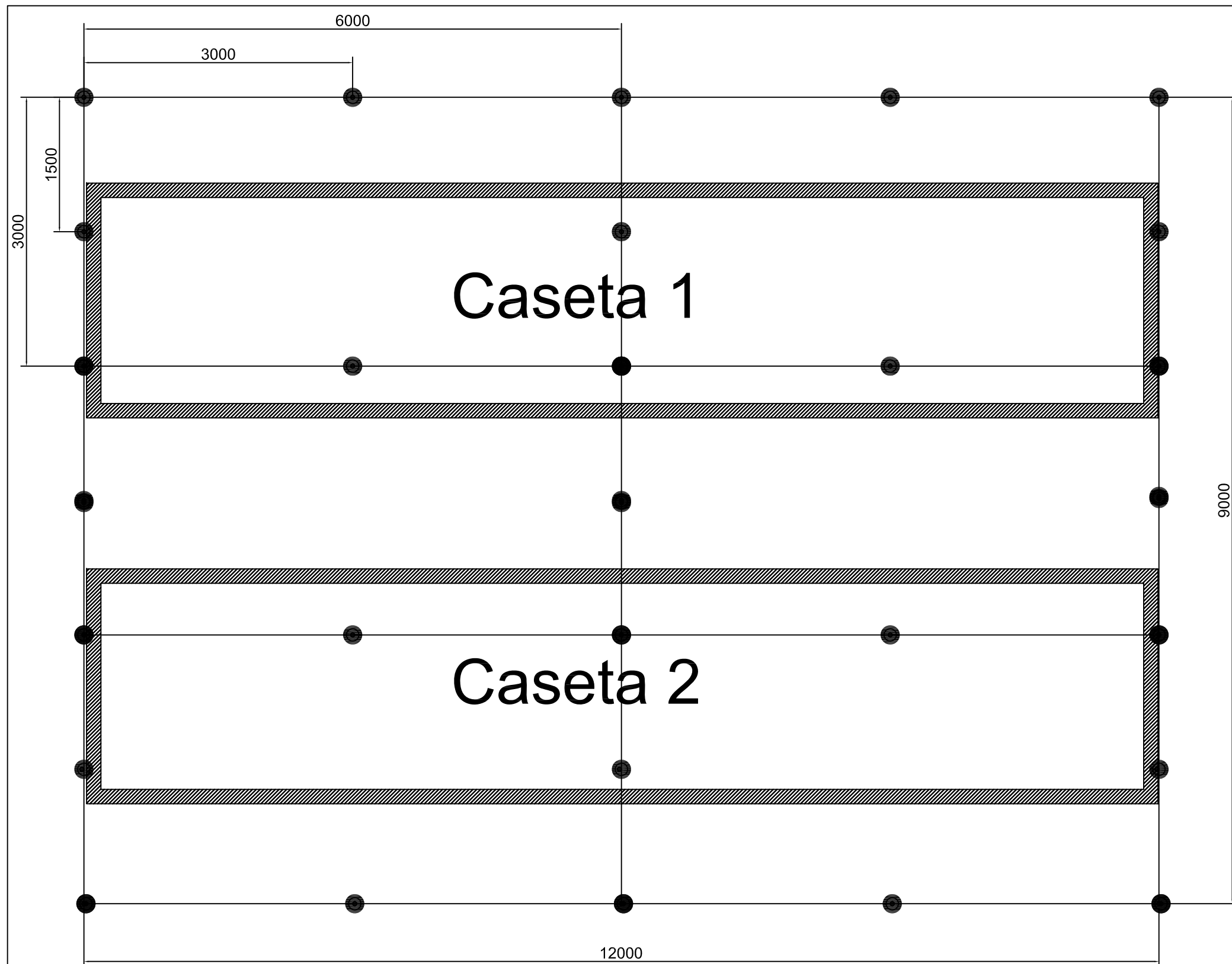
- ① Módulo de entrada 25 kV
- ② Celda de protección
- ③ Transformador 25kV/220V
- ④ UPS


00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
		Fecha
	Dibujado	22/08/2015
	Aprobado	27/08/2015
Escala 1:400		Nº plano:6.2.1



① Batería

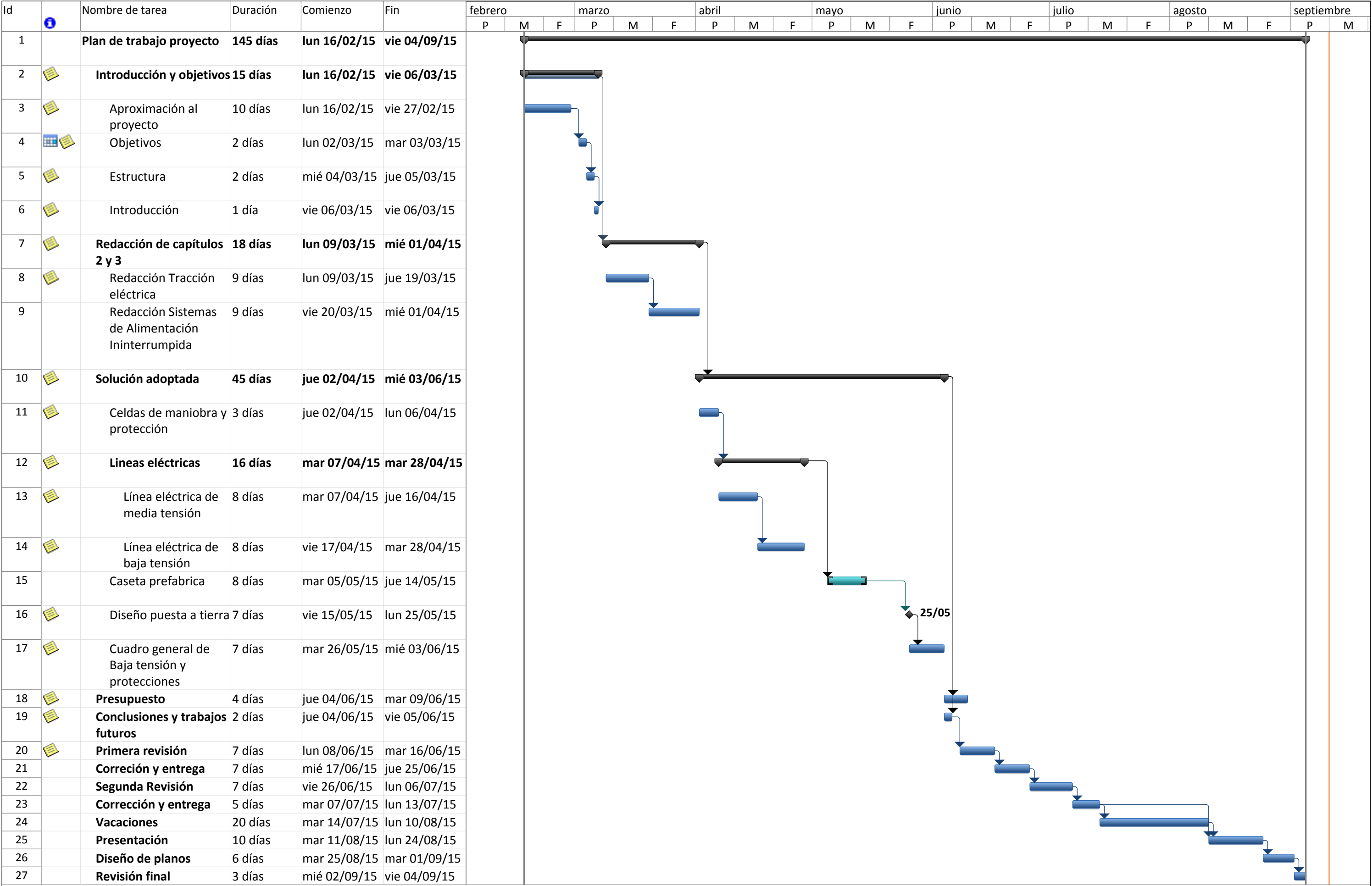
00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
	Fecha	Firma
	Dibujado 22/08/2015	Pablo Urdiales
	Aprobado 27/08/2015	Lorenzo Muñoz
Escala 1:400	Caseta nº2	Nº plano:6.2.2



00	Edición inicial	Pablo Urdiales
Revisión	Descripción	Firma
	Proyecto de suministro de energía eléctrica desde subestación a base de mantenimiento	
		Fecha
	Dibujado	23/08/2015
	Aprobado	27/08/2015
Escala 1:500		Nº plano: 6.2.3
Red de Tierras		

## 7. Plan de trabajo

1. Introducción y objetivos: Durante estos 15 días se ha decidido como abordar el trabajo redactando la introducción al proyecto con un pequeño resumen y principales objetivos.
2. Redacción de capítulos 2 y 3: Esta ha sido la parte de la realización del estado del arte. Comprende la recopilación de información de las Subestaciones de Tracción y aproximación a los SAI's. Una vez recopilada toda la información, se plasma en el proyecto.
3. Solución adoptada: Es la parte más extensa e importante del proyecto, realizada durante 45 días. En este apartado se explica la manera de encarar el proyecto, las medidas llevadas a cabo y las justificaciones por las cuales se han tomado.  
Durante estos días se realiza la elección y diseño de las celdas de maniobra y protección, dimensionamiento de las líneas eléctricas, diseño de casetas prefabricadas, cálculo de puesta a tierra y modificaciones en el cuadro general de baja tensión de la Base de Mantenimiento
4. Presupuesto: Aquí se ha hecho un presupuesto aproximado de las nuevas instalaciones y las modificaciones realizadas en las existentes durante el proyecto.
5. Conclusiones y trabajos futuros: Redacción de las conclusiones una vez finalizado el trabajo, comparando con los objetivos iniciales y exposición de nuevas propuestas para trabajos futuros.
6. Revisiones y correcciones: Durante estos periodos el trabajo ha sido revisado, para la comprobación y veracidad de los datos, formatos y cálculos. Una vez revisado se corrigen los errores.
7. Presentación: Diseño de la presentación, recopilando y resumiendo la información más relevante en las diapositivas.
8. Diseño de planos: Realización de los planos necesarios durante el proyecto. Se han dibujándolos planos de instalaciones existentes con las modificaciones realizadas y planos de las nuevas instalaciones diseñadas



## 8. Presupuesto.

### 8.1. Capítulo 1: Caseta

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
1.1	Suministro, transporte y colocación de caseta prefabricada de hormigón de dimensiones 11,96 x 2,62 x 3,0 M. Resistencia al fuego de 90 minutos acondicionada con dos estancias independientes, instalación eléctrica de alumbrado y fuerza, 2 puertas de seguridad de doble chapa y transporte totalmente equipada, montada e instalada	2	Ud.	24.474,85	48.949,70
1.2	Suministro y ejecución de la red de puesta a tierra de las casetas compuesta por 12 picas de acero de 6 metros de longitud y 14 mm de diámetro, unidas con cable desnudo de 500mm <sup>2</sup> Cu enterrado 50 cm	1	Ud.	4.816,96	4.816,96
1.3	Losa de caseta 'in situ' formada por excavación de 30 cm de la superficie de la losa por medios mecánicos en terreno, hormigón armado HM25, losas planas de 20 cm de espesor I/P.P de armadura (hasta 85 kg/m <sup>3</sup> ) y encofrado de madera, vertido, vibrado y colado según normas NTE-EME, EHL y EHE. Incluye también el suministro y colocación de peldaño de acceso a caseta, así como el relleno, extendido y apisonado de zahorras en fondo de excavación por medios mecánicos en tongadas de 15 cm de espesor, posterior lecho de arena de río de 5 cm y rematado con lámina de polietileno	2	m <sup>2</sup>	1.676,98	3.353,96

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio Unitario (€/unidad)	Importe total (€)
1.4	Preparación del terreno para caseta, incluido desbroce y limpieza del terreno, excavación de 30 cm. Incluido transporte de material sobrante al vertedero	2	Ud.	131,44	262,88
<b>TOTAL CAPITULO 1.....</b>					<b>57.383,50 €</b>

## 8.2. Capítulo 2: Arquetas registro y canalizaciones

Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total €
2.1	Arqueta prefabricada registrable de hormigón armado, con unas dimensiones de 1500 x 1500 x1700 mm, con una ventana de 540 x 3300 mm para la entrada de tubos, incluso con tapa de 1440 x 720 x 100 mm, colocada sobre solera de hormigón en masa, suministro y colocación de las piezas de empalme	42	Ud.	701,25	29.452,50
2.2	Ud. Arqueta de registro de 63 x 63 x 80 cm realizada con fábrica de ladrillo macizo con ½ pie de espesor recibido con mortero de cemento 1/6, enfoscada y bruñida en su interior, i/solera de hormigón H-175 kg7cm2 y tapa de hormigón armado, S/NTE-ISS-50/51	13	Ud.	827,72	10.760,36
2.3	Canalización hormigonada de 6 conductos de PVC 110mm en cualquier tipo de terreno, incluido excavación, suministro y montaje de tubos de PVC de 110 mm de diámetro, hormigón, tipo H-150. Incluido P/P de prueba de conductos, encofrados, retirada, carga y transporte de productos a vertedero	800	ml	83,20	66.560,00

<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Med.</b>	<b>Ud.</b>	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	<b>Importe total €</b>
2.4	Canalización de zanja en terreno duro o rocoso pudiéndose realizar utilizándose excavadoras, o a mano con picos, palas, etc. Tendrá una profundidad no inferior a 120 mm. Lo más alejada posible de la plataforma de vía	6.400	ml	46,58	298.112,00
2.5	Canalización de zanja en terreno normal o blando, pudiéndose realizar a máquina utilizándose excavadoras, o a mano con picos, palas, etc. Tendrá una profundidad no inferior a 120 mm. Lo más alejada posible de la plataforma de vía	923	ml	33,90	31.289,70
2.6	Canalización de zanja en terreno normal blando, bajo paso superior, pudiéndose realizar a máquina utilizándose excavadoras, o a mano con picos, palas, etc. Tendrá una profundidad no inferior a 120 mm. Lo más alejada posible de la plataforma de vía	32	ml	80,80	2.585,60
2.7	Canalización hormigonada en la Base de Mantenimiento, realizándose a máquina utilizándose excavadoras, o a mano con picos, palas, etc. Tendrá una profundidad no inferior a 120 mm	300	ml	99,85	29.955,00
2.8	Reposición de cercado de 2 metros de altura realizado con malla simple y torsión galvanizada en caliente de trama 40/14 y postes de tubo de acero galvanizado por inmersión de 48 mm de diámetro, P.P. de postes de esquina, jabalcones, tornapuntas, tensores, grupillas y accesorios, montada l/replanteo y recibido de postes con mortero de cemento y arena de río ¼ (M-80)	90	ml	38,22	3.439,80



Nº	Concepto	Med.	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total €
2.9	Demolición de pavimento de mezcla bituminosa de hasta 25 cm de espesor, por medios mecánicos, incluso carga y transporte de productos a vertedero	18	m <sup>2</sup>	14,84	267,12
2.10	Canalización hormigonada de 2 conductos de PVC de 150 mm en la subestación, incluido excavación por medios manuales y/o medios mecánicos, relleno, compactado de zanja con material seleccionado procedente de la excavación, suministro y montaje de tubos de PVC de 150 mm de diámetro de diámetro, hormigón tipo H-150, incluido P/P de prueba de conductos, encofrados, retirada, carga y transporte de productos a vertedero	10	ml	59,69	596,90
2.11	P.A. a justificar reposición de firme en Base de Mantenimiento	1	P.A.	2.640,26	2.640,26
<b>TOTAL CAPITULO 2.....</b>					<b>392.137,67€</b>

### 8.3. Capítulo 3: Equipamiento alta tensión

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
3.1	Suministro y tendido de un conductor de Al unipolar aislado de 150 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento 18/30 KV, sobre zanja, estará de acuerdo con las E.T. en vigor. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	15.000	ml	16,16	242.400,00
3.2	Suministro y tendido de un conductor de Al unipolar aislado de 150 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento 18/30 kV, sobre canalización hormigonada. Estará de acuerdo con las E.T. en vigor. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	2.500	ml	16,26	40.650,00
3.3	Suministro y montaje de empalme de alta tensión con caja de empalme de fibra de vidrio de dimensiones 800 x 400 x 240 mm. Se incluye todo el material auxiliar necesario para el montaje	24	Ud.	533,91	12.813,12

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
3.4	Hito de señalización de zanja que contiene cable de energía de A.T. enterrado 50 cm, con una base de 15 cm de hormigón, sobresaliendo del suelo otros 50 cm	76	Ud.	31,54	2.460,12

**TOTAL CAPITULO 3.....368.211,24€**

## 8.4. Capítulo 4: Equipamiento subestación

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
4.2	Suministro y montaje de una cabina blindada con corte al aire, para acometida de A.T. con aislamiento 36 kV, 50 Hz, In=630 A, Icc=20 KA. Servicio interior compuesto de los siguientes elementos: conector unipolar normalizado, seccionador unipolar de acometida con puesta a tierra y accionamiento eléctrico a 110V C.C. Autolválvula con intensidad de descarga de 10 KA. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	1	Ud.	32.942,63	32.942,63

**TOTAL CAPITULO 4.....32.942,63€**

## 8.5. Capítulo 5: Equipamiento caseta

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
5.1	Suministro y montaje de una cabina blindada con corte al aire, para llegada de línea A.T. con aislamiento 36 kV, 50 Hz, In=630 A, Icc=20 kA. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	1	Ud.	5.550,60	5.550,60

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
5.1	Suministro y montaje de una cabina blindada o compartimentada con corte de gas Sf6 para llegada de línea de A.T. con aislamiento 36 kV, 50 Hz, In=630 A, Icc=20 KA. Servicio interior compuesto de los siguientes elementos: seccionador unipolar de entrada con puesta a tierra, interruptor automático con corte en SF6, transformador de intensidad para su protección con relación de transformación 75-150/5, relé electrónico de protección unipolar para la protección de línea para sobrecarga, cortocircuito y defecto a tierra; autoválvula 36 KV, 10 KA de descarga, transformador de tensión para medida de 30 KV/110/3. Equipo de medida, relés correspondientes para telemandar las señales. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	1	Ud.	33.150,52	33.150,52
5.2	Suministro y montaje de transformador monofásico 400KVa para 25/0,230 Kv. Incluido accesorios, material auxiliar y pruebas necesarias. Totalmente montado y conexionado	1	Ud.	8.397,44	8.397,44

**TOTAL CAPITULO 5.....41.547,96 €**

## 8.6. Capítulo 6: Equipamiento baja tensión en caseta

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
6.1	Suministro, transporte y montaje del equipo rectificador-inversor	1	Ud.	421.761,49	421.761,49
6.2	Suministro y montaje de panel de mando y control para un interruptor automático con mando a distancia. Incluido la parte proporcional de servicios auxiliares y relés intermedios de telemando, provisto de la aparamenta necesaria para realizar el mando, control y señalización para su correcto funcionamiento según E.T vigente. Comprende el cableado, conmutadores de mando y señalización, pulsadores, clapes de alarmas, relés, contactores, relés de protección, protecciones, aparatos de medida, transformadores de tensión e intensidad, regletas de bornas, marcado de los cables y realización de los esquemas de cableado. Pruebas hasta su correcto funcionamiento. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga y pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares	1	Ud.	3.217,86	3.217,86

<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Med</b>	<b>Ud.</b>	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	<b>Importe total (€)</b>
6.3	Suministro y montaje de panel de mando y control para el eq. rectificador-inversor, provisto de la aparamenta necesaria para realizar el mando, control y señalización para su correcto funcionamiento según e.t. vigente. Comprende el cableado, conmutadores de mando y señalización, pulsadores, clapes de alarmas, relés, contactores, relés de protección, protecciones, aparatos de medida, transformadores de tensión e intensidad, regletas de bornas, marcado de los cables y realización de los esquemas de cableado, pruebas hasta su correcto funcionamiento. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el montaje, su regulación y pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	1	Ud.	11.863,53	11.863,53
6.4	Suministro y montaje de un cuadro de distribución y protección en b.t. compuesto de los siguientes elementos: armario de poliéster de 750 x 1250 x 300 mm., reforzado con fibra de vidrio, grado de protección ip55. Una base portafusibles tripolar de 2000 a, con sus fusibles correspondientes. Dos cerraduras de enclavamiento. Armario totalmente conexionado, perfiles, regletas de bornas, etc. estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el montaje, pruebas hasta su correcto funcionamiento, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	2	Ud.	1.576,76	3.153,52

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
6.5	Suministro y tendido de un conductor de Cu unipolar aislado de 300 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento 0,6/1 kV., sobre bandejas o canaletas. Estará de acuerdo con las e.t. en vigor. Incluye el propio suministro, el transporte, la carga y la descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria, medios auxiliares.	1.500	ml	30,71	46.065,00
6.6	Equipo de aire acondicionado para montaje en caseta prefabricada. Totalmente instalado	2	Ud.	2.873,29	5.746,58
6.7	Bandeja tipo Rejiband para el tendido de cables. Totalmente montada	60	ml	25,48	1.528,80

**TOTAL CAPITULO 6.....493.336,75€**

## 8.7. Capítulo 7: Telemando

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
7.1	Modificación de la central del telemando de energía para incluir el nuevo equipamiento necesario y la funcionalidad requerida en la acometida de energía eléctrica a la Base de Mantenimiento en dicho telemando	1	Ud.	3.225,41	3.225,41
7.2	Suministro e instalación de remota de telemando, totalmente montada, conexionada y equipada para la funcionalidad requerida	1	Ud.	15.844,87	15.844,87
7.3	Ampliación de remota de telemando en subestaciones eléctricas	1	Ud.	2.881,41	2.881,41



Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
7.4	Modificación de la central del telemando de subestaciones para incluir el nuevo equipamiento necesario y la funcionalidad requerida	1	Ud.	3.225,41	3.225,41
7.5	Suministro e instalación de equipamiento para integrar la nueva remota de telemando en el sistema de telecomunicaciones, totalmente montado, conexionado y equipado para la funcionalidad requerida	1	Ud.	7.868,18	7.868,18
7.6	Empalme y/o segregación de una fibra óptica en cable multifibra totalmente terminada	2	Ud.	16,00	32,00
7.7	Prueba reflectométrica y medida de atenuación de una fibra óptica en cable multifibra totalmente terminada	2	Ud.	15,30	30,60
7.8	Pigtail para empalme de fibra óptica en repartidor, de longitud 3m	2	Ud.	25,80	51,60
7.9	Manipulación de caja de empalme y segregación con fibras ópticas en servicio, incluyendo instalación de organizador de fibras para segregación y sellado del cable	1	Ud.	104,47	104,47
7.10	Organizador para 32 empalmes en caja de segregación	1	U	41,31	41,31

**TOTAL CAPITULO 7.....33.305,26€**

## 8.8. Capítulo 8: Modificaciones cuadro general Baja Tensión

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
8.1	Suministro y tendido de un conductor de Cu tripolar aislado de 16 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento 0,6/1 kV. Estará de acuerdo con las E.T. en vigor. . Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	1.350	ml	6,31	8.518,90
8.2	Suministro y tendido de un conductor de Cu tripolar aislado de 6 mm <sup>2</sup> de sección, con aislamiento 0,6/1 kV. Estará de acuerdo con las E.T. en vigor. . Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	450	ml	3,72	1.674,00

<b>Nº</b>	<b>Concepto</b>	<b>Med</b>	<b>Ud.</b>	<b>Precio unitario (€/unidad)</b>	<b>Importe total (€)</b>
8.3	Suministro y tendido de un conductor de Cu tripolar aislado de 10 mm2 de sección, con aislamiento 0,6/1 kV. Estará de acuerdo con las E.T. en vigor. . Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	1.050	ml	4,85	5.092,50
8.4	Suministro y tendido de un conductor de Cu tripolar aislado de 25 mm2 de sección, con aislamiento 0,6/1 kV. Estará de acuerdo con las E.T. en vigor. . Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	960	ml	8,60	8.256,00

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
8.5	Suministro y montaje de interruptor automático tripolar para protección en B.T. de 400 V de tensión nominal, In=50 A, relés térmicos y magnéticos regulables, accionamiento eléctrico de 220 v c.c., bobina de mínima, capacidad de corte de 20 kA y juego de contactos auxiliares. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	1	Ud.	198,50	198,50
8.6	Suministro y montaje de interruptor automático tripolar para protección en B.T. de 400 V de tensión nominal, In=20 A, relés térmicos y magnéticos regulables, accionamiento eléctrico de 220 v c.c., bobina de mínima, capacidad de corte de 20 kA y juego de contactos auxiliares. Estará de acuerdo con las especificaciones técnicas vigentes. Incluye el propio suministro, transporte, carga y descarga del material a pie de obra, el tendido, montaje de grapas, terminales y elementos de fijación, empalmes y conexiones con otros circuitos, los desplazamientos, pequeño material, herramientas, maquinaria y medios auxiliares.	3	Ud.	118,98	341,94

**TOTAL CAPITULO 8.....24.081,44 €**

## 8.9. Capítulo 9: Ingeniería

Nº	Concepto	Med	Ud.	Precio unitario (€/unidad)	Importe total (€)
9.1	Partida alzada a justificar de ingeniería, pruebas y puesta en servicio de la ampliación del telemando de energía	1	P.A.	3.031,00	3.031,00
9.2	Partida alzada a justificar de ingeniería, pruebas y puesta en servicio del sistema correspondiente al equipamiento suplementario de la acometida de energía para la base	1	P.A.	5.420,00	5.420,00
9.3	Partida alzada a justificar de ingeniería, pruebas y puesta en servicio de la ampliación del telemando de subestaciones	1	P.A.	1.045,00	1.045,00
9.4	Partida alzada a justificar de ingeniería, pruebas y puesta en servicio equipamiento instalado en la subestación	1	P.A.	915,00	915,00
9.5	Estudio de seguridad y salud	1	Ud.	12.662,55	12.662,55
9.6	Supervisión y visado del proyecto	1	P.A.	2.738,00	2.378,00
<b>TOTAL CAPITULO9.....</b>					<b>25.451,55€</b>

## 8.10. Resumen

CAPITULO 1.....	57.383,50 €
CAPITULO 2.....	392.137,67€
CAPITULO 3.....	368.211,24€
CAPITULO 4.....	32.942,63€
CAPITULO 5.....	47.098,56€
CAPITULO 6.....	493.336,75€
CAPITULO 7.....	33.305,26€
CAPITULO 8.....	24.081,44€
CAPITULO 9.....	25.451,50€
PRESUPUESTO EJECUCIÓN MATERIAL .....	1.473.894,58 €
GASTOS GENERALES Y BENEFICIO INDUSTRIAL [15%] .....	221.084,19€
.....	SUMA = 1.694.978,77€
IVA [21%].....	355.945,54€
PRESUPUESTO BASE LICITACIÓN.....	2.050.924,30€

El Presupuesto Base de Licitación asciende a la expresada cantidad de DOS MILLONES CINCUENTA MIL NOVECIENTOS VEINTICUATRO EUROS CON TREINTA CÉNTIMOS.

## 9. Conclusiones y trabajos futuros

Una vez finalizado el Trabajo de Fin de Grado, vemos que hemos cumplido con los siguientes objetivos:

- Introducción al mundo de la tracción eléctrica, haciendo especial hincapié en el tipo de subestaciones de tracción, funcionamiento, posibles fallos y soluciones.
- Adquirir conocimientos sobre las distintas formas de electrificación dentro de la tracción ferroviaria, con sus ventajas e inconvenientes.
- Estudio de las instalaciones existentes en una Base de Mantenimiento de una línea de Alta Velocidad y las principales actividades que se realizan en su interior.
- Investigación sobre los SAI's para conocer sus componentes principales, distintas configuraciones y usos
- Tomar una solución para llevar a cabo el proyecto, diseñando con esto la línea eléctrica de Media y Baja Tensión. Selección de las casetas prefabricas para albergar el equipamiento eléctrico: transformador, SAI, celdas de protección, baterías, etc.
- Realización de los distintos cálculos eléctricos necesarios en base a lo estudiado en el Grado
- Comprobación de instalaciones de Baja Tensión existentes y desarrollo de las modificaciones necesarias.
- Diseño de los planos necesarios para la realización del trabajo
- Diseño de un plan de trabajo del proyecto óptimo para su realización
- Realización de un presupuesto aproximado.

Durante el desarrollo del trabajo he podido comprobar la importancia del sector ferroviario. Se trata de un sector de gran importancia para el sector industrial español, en la que muchas empresas españolas están trabajando en proyectos internacionales. Dentro de este sector me gustaría profundizar en otros campos relacionados:

- Esquemas de subestaciones inversoras en tracción de corriente continua.
- Recuperación de energía de frenado de trenes.
- Acumulación de energía procedente del frenado de los trenes.
- Sistemas de control de subestaciones.

Por otro lado, en lo que se refiere a las tecnologías de Sistemas de Alimentación Ininterrumpida, sería interesante profundizar en:

- Esquemas de alimentación redundantes de SAI's.
- Sistemas de Refrigeración de SAI's.

- Disposición optima de equipamiento de SAI's y consumos (equipos informáticos, equipos de climatización, etc.).



## 10. Bibliografía

- [1] Kiessling, Puschmann, Schmieder, Vega, *Líneas de contacto para ferrocarriles electrificados*.
- [2] Juan Miguel Gómez Viñas, *Análisis y simulación de subestaciones de tracción en corriente continua*. Proyecto fin de carrera, Universidad Carlos III de Madrid, 2011.
- [3] Eduardo Pilo de la Fuente, *Diseño óptimo de la electrificación de ferrocarriles de alta velocidad*, Tesis para la obtención del Grado de Doctor, Universidad Pontificia Comillas de Madrid, 2003
- [4] Eva Vergel Medina, *Rehabilitación e incremento de potencia de una subestación de tracción de corriente continua*, Proyecto de Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2014
- [5] Jorge Llavina Juan, *Diseño de las subestaciones eléctricas de tracción y centros de autotransformación asociados a una línea ferroviaria de alta velocidad*. Proyecto de Fin de Carrera, Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial de Barcelona, 2010
- [6] José Raúl Martín, *Diseño de subestaciones eléctricas*. McGraw-Hill.
- [7] Estudio informativo para el aumento de la capacidad de la línea de alta velocidad Tardienta-Huesca
- [8] Manual técnico Zigor-FAP
- [9] [http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema\\_de\\_alimentaci%C3%B3n\\_ininterrumpida](http://es.wikipedia.org/wiki/Sistema_de_alimentaci%C3%B3n_ininterrumpida), 01/03/2015
- [10] Manual técnico práctico Schneider, 14. Los SAI
- [11] <http://www.rackonline.es/content/que-es-un-sai-y-tipos-de-sai>, 03/03/2015
- [12] Guía Técnica Legrand-SAI
- [13] Manual de operación Zigor- SEPEC
- [14] Manual del Usuario, SLCCUBE3+, Salicru.
- [15] Guía técnica Liebert
- [16] Enrique Lozano Martínez, *Instalación eléctrica de un complejo hospitalario*, Proyecto de Fin de Grado, Universidad Carlos III de Madrid, 2012
- [17] RS components Ltd-Selección de un Sistema de Alimentación Ininterrumpida
- [18] Guía técnica Salicru
- [19] Cuaderno técnico nº129, Scheneider Electric
- [20] Real Decreto 842/2002, Reglamento Electrotécnico para Baja Tensión, BOE 18-09-2002
- [21] <http://www.ingeo-electronica.com.ar>, 20/03/2015

[22] <http://es.slideshare.net/OscarOliverObiol/batera-de-plomo-cido>, 27/04/2015

[23] [http://www.duncan.com.ve/co\\_componentes.php](http://www.duncan.com.ve/co_componentes.php) , 11/06/2015

[24] [http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_plomo\\_y\\_%C3%A1cido](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_plomo_y_%C3%A1cido), 12/06/2015

Catálogo Técnico Schneider- Equipos didácticos de media tensión

<http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es> Vol. 44 nº 420 Julio/Agosto, 1992.

[24].Real Decreto 337/2014, Reglamento sobre condiciones técnicas y garantías de seguridad en instalaciones eléctricas de alta tensión y sus instrucciones Técnicas complementarias ITC-RAT 01 a 23, BOE 09-06-2014.

[25] <http://ayudaelectronica.com/baterias-de-plomo-acido-principio-de-funcionamiento/>, 11/6/2015

[26] [http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa\\_de\\_n%C3%ADquel\\_cadmio](http://es.wikipedia.org/wiki/Bater%C3%ADa_de_n%C3%ADquel_cadmio), 13/06/2015

[27]<http://www.enersac.com/energia-solar-faq-que-diferencia-hay-entre-las-baterias-de-plomo-acido-y-niquel-cadmio.php>, 13/06/2015

[28] <http://www.nfb.com.mx/productos-baterias-plomo-acido.html>, 13/06/2015

[29] Catálogo Técnico Schneider- Equipos didácticos de media tensión

[30] Catálogo Mando de Control y Scada local, Brochure

[31] Proyecto constructivo de la nueva subestación eléctrica de tracción de Cardedeu, Adif

[32] Catálogo hc energía

[33] Catálogo Técnico HIMOINSA, modelos HRSW-405 T5

[34] Catálogo General Cable-energy RV-K FOC

[35] Comisión de reglamentos de Unesa, Método de Cálculo y Proyecto de instalaciones de puesta a tierra para centros de transformación de tercera categoría